

Tim Janderski

**Projektierung und Realisierung einer übergeordneten Anlagensteuerung, zur Verknüpfung der Bewegungssteuerungen und Strahlablenk-systeme mit einem IPG 3kW Monomode- Faserlaser und der Periphe-rie, unter Beachtung der Maschinen- und Lasersicherheit.**

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

**HOCHSCHULE MITTWEIDA**

---

**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

Informationstechnik / Elektrotechnik

Mittweida, 2010

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Römer

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Sascha Klötzer

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

## **Bibliographische Beschreibung**

Janderski, Tim:

Projektierung und Realisierung einer übergeordneten Anlagensteuerung, zur Verknüpfung der Bewegungssteuerungen und Strahlableitungs-systeme mit einem IPG 3kW Monomode-Faserlaser und der Peripherie, unter Beachtung der Maschinen- und Lasersicherheit. - 2010. - 52 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences, Fachbereich Informationstechnik & Elektrotechnik, Diplomarbeit, 2010

## **Referat**

Ziel der Diplomarbeit ist es, eine aus mehreren Bearbeitungszellen bestehende Forschungsanlage so mit einem 3kW Monomode-Faserlaser zu koppeln, dass die bisher nötigen, aufwendigen und zeitintensiven Umsteckarbeiten beim Wechsel von einer Bearbeitungszelle zu einer anderen entfallen und die Auswahl bedienerfreundlich per Tastendruck erfolgen kann. Die Verknüpfung soll über eine ebenfalls im Rahmen dieser Diplomarbeit programmierten Steuerung der Firma Wago realisiert werden und ein sinnvolles Sicherheitskonzept aus diversen Schutzeinrichtungen beinhalten.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Bibliographische Beschreibung.....</b>	<b>1</b>
<b>Referat .....</b>	<b>1</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Abkürzungsliste.....</b>	<b>6</b>
<b>1     Einleitung und Gliederung .....</b>	<b>7</b>
<b>2     Beschreibung der Ausgangssituation .....</b>	<b>8</b>
2.1     Betrachtungen zur Maschinensicherheit.....	10
<b>3     Projektierung und Planung des Schaltschranklayouts .....</b>	<b>12</b>
<b>4     Bestückung des Schaltschranks mit allen notwendigen Komponenten .....</b>	<b>13</b>
4.1     Installation der Hauptstromversorgung .....	15
4.2     Installation der Sicherheits-SPS.....	18
4.3     Installation der Wago-Steuerung .....	19
<b>5     Verknüpfung aller Geräte und Komponenten der Anlage .....</b>	<b>21</b>
5.1     Not-Halt-Taster .....	21
5.2     Laser-Spy-Sensoren .....	22
5.3     Türsensoren.....	23
5.4     3kW Monomode Faserlaser.....	23
5.5     Aerotech-Steuerung.....	24
5.6     RTC3 PC-Interfacekarte .....	26
5.7     Laserscanner .....	26
5.8     Sinterkammer (Vakuumpumpen und Drucksensoren) .....	27

5.9	Ventile zur Spiegelsteuerung .....	27
5.10	Realisierung der Signalumschaltung .....	28
<b>6</b>	<b>Programmierung der Sicherheits-Steuerung.....</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Programmierung der Wago-Steuerung .....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>34</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>35</b>
A1	EPLAN Einspeisung .....	35
A2	EPLAN Hauptstromkreis mit Selbsthalteschaltung .....	36
A3	Kontroll- und Serviceschnittstellen.....	37
A4	Sicherheitsschnittstelle .....	41
A5	Quelltext .....	42
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>51</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung.....</b>	<b>52</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Laser-Anlage Frontansicht und Rückansicht .....	8
Abbildung 2: Äußerer Aufbau des Lasers [2] .....	9
Abbildung 3: Anlage mit Laser .....	10
Abbildung 4: Bestückter Schaltschrank .....	13
Abbildung 5: Bedienelemente .....	15
Abbildung 6: Einspeisung .....	16
Abbildung 7: Selbsthalteschaltung .....	17
Abbildung 8: Sick Sicherheits-Steuerung .....	19
Abbildung 9: Feldbusknoten [4] .....	20
Abbildung 10: Gesamte Anlage .....	21
Abbildung 11: Laser-Spy-Sensor [5] .....	22
Abbildung 12: Notaus-Schnittstelle der Aerotech [6] .....	25
Abbildung 13: Scan-Kopf .....	27
Abbildung 14: Hardwarekonfiguration .....	29
Abbildung 15: Logikeditor Seite1 .....	31
Abbildung 16: Logikeditor Seite2 .....	32
Abbildung 17: EPLAN Einspeisung .....	35
Abbildung 18: Hauptstromkreis .....	36
Abbildung 19: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 1/4 [2] .....	37
Abbildung 20: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 2/4 [2] .....	38
Abbildung 21: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 3/4 [2] .....	39

Abbildung 22: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 4/4 [2] .....	40
Abbildung 23: Sicherheitsschnittstelle [2].....	41

## Abkürzungsliste

Kurzform	Ausgeschrieben
AI	Analog Input
CoDeSys	Controller Development System
DI	Digital Input
DIN	Deutsches Institut für Normung
DO	Digital Output
EN	Europäische Norm
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institut of Electrical and Electronics Engineer
ISO	International Organization for Standardization
Kat.	Kategorie
PC	Personalcomputer
PCI	Peripheral Components Interface
PL	Performance Level
PWM	Pulsweitenmodulation
SIL	Safety Integrity Level
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung

## **1 Einleitung und Gliederung**

Seit Ende 2007 verfügt die Hochschule Mittweida über einen Monomode-Faserlaser vom Typ YLR- 3000 SM der Firma IPG mit einer maximalen Strahlleistung von 3kW. Daraufhin wurde für den Laser eine Hochleistungsforschungsanlage zur ultraschnellen Mikrobearbeitung, zum Lasermikrosintern sowie zur Hochleistungs-Makrobearbeitung gebaut. Diese Anlage wurde im Rahmen einer weiteren Diplomarbeit [1] mit einer geeigneten, aktiven Schutzeinhausung versehen und in Betrieb genommen. Sie ist relativ komplex und besteht aus mehreren Bearbeitungsstationen, in denen jeweils der 3kW Monomode-Faserlaser als Strahlquelle fungieren kann, sowie einer Reihe verschiedenster Geräte zur Steuerung der Strahlableitungs- und Positioniereinrichtungen.

Wenn man zwischen den Bearbeitungsstationen wechseln will, musste man einige Teile der Anlage umbauen, um den Strahlengang zur jeweiligen Station zu leiten und die peripheren Geräte mit einer geeigneten Steuerung zu verbinden. Diese notwendigen Vorgänge sind - manuell ausgeführt - sehr zeitintensiv und verlangen ein hohes Maß an Kenntnis über die einzelnen Komponenten sowie das umfassende Verständnis der vom Betreiber gewünschten Funktionsweise der gesamten Anlage, können aber mit Mitteln der Automatisierungstechnik z.B. auf das Betätigen eines Tasters beschränkt werden. Somit wird nicht nur die Bedienerfreundlichkeit, sondern auch die Sicherheit der Anlage erhöht, weil der Bediener weniger Möglichkeiten zum Fehlverhalten hat. Dies soll genauso Inhalt dieser Diplomarbeit sein, wie die unterschiedlichen Möglichkeiten der technischen Umsetzung dieser Aufgaben und die tatsächliche Realisierung.

Dabei wird im zweiten Kapitel kurz die Ausgangssituation geschildert und im dritten werden die Ziele genannt. Im vierten Kapitel wird der Aufbau des Schaltschranks beschrieben und im fünften wie alle Komponenten miteinander verknüpft sind. Die darauf folgenden Kapitel widmen sich der Programmierung der verwendeten Steuerungen. Mit einer Zusammenfassung und Gegenüberstellung von ursprünglichen Zielen und tatsächlich Erreichtem, sowie einer Zukunftsaussicht wird die Diplomarbeit abgeschlossen.



## 2 Beschreibung der Ausgangssituation

Vor Beginn der Arbeiten, welche diese Diplomarbeit beinhaltet, war die gesamte Anlage bereits in einem betriebsfähigen Zustand. Sie bestand aus einem Granitaufbau auf einem Stahlgestell und einer Unterschrankkonstruktion. In den drei Granitkammern waren zum einen die Optiken zur Strahlführung und -formung untergebracht (siehe Abbildung 1 - Teil 3) und zum anderen die Bearbeitungsstationen zum Lasermikrosintern und Hochleistungs-schweißen/-schneiden (siehe Abbildung 2 - Teil 1 und 2).

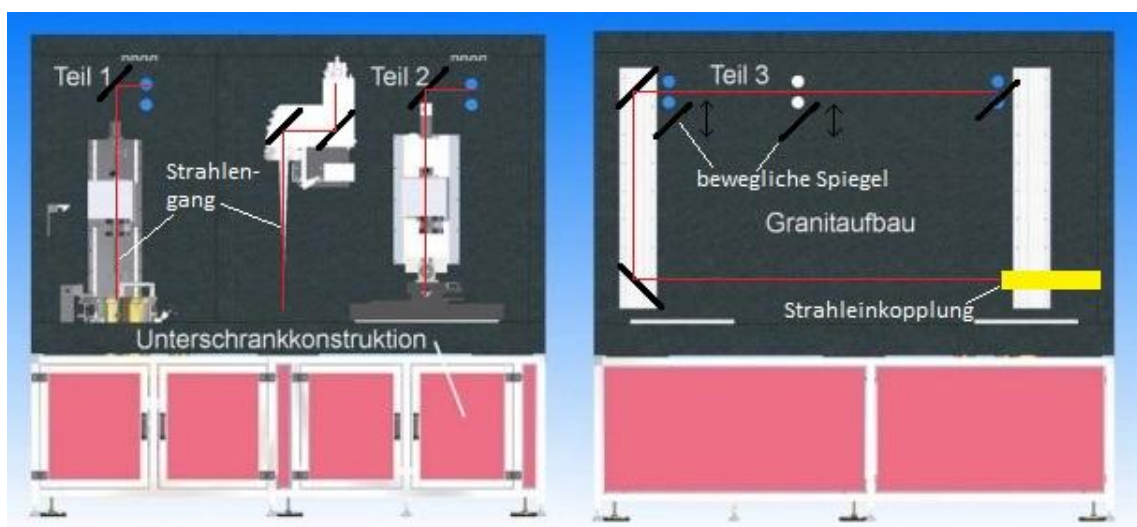
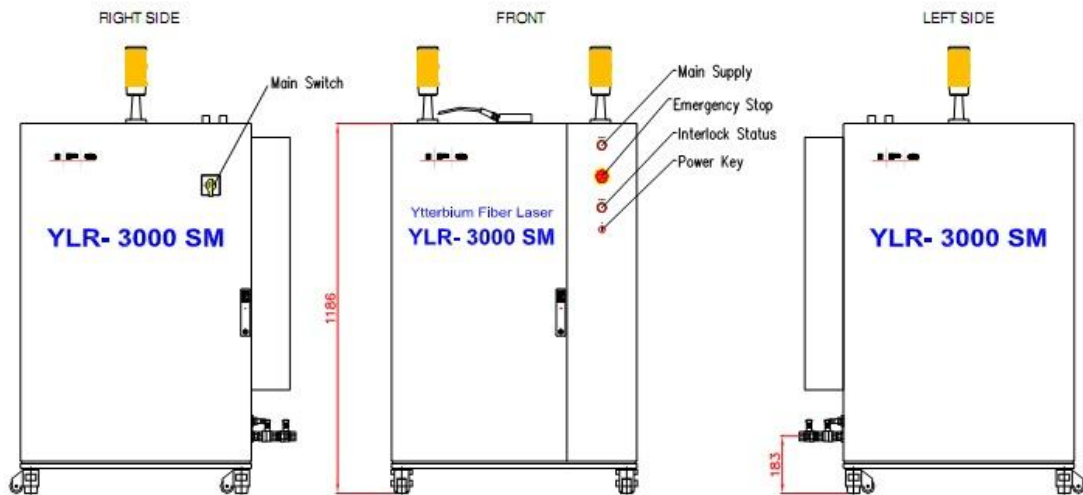


Abbildung 1: Laser-Anlage Frontansicht und Rückansicht

Die Stationen waren an allen Seiten von einer aktiven Schutzeinhausung umgeben. An den Schiebetüren an der Vorder- und Hinterseite waren induktive Sensoren zur Überwachung installiert. In dem Unterschrank befanden sich die elektronischen Komponenten, wie zum Beispiel Steuerrechner, Achssteuerungen sowie die Stromversorgungen und Vakuumeinheiten. Die Strahlquelle – der 3kW Monomode Faserlaser – stand neben der Anlage und konnte über eine Faser an den gewünschten Bearbeitungsabschnitt angekoppelt werden. Da er, wie in Abbildung 2 zu sehen ist auf rollbaren Füßen steht, kann er leicht bewegt werden und auch an anderen Anlagen eingesetzt werden.



**Abbildung 2: Äußerer Aufbau des Lasers [2]**

Der Wechsel zwischen den Bearbeitungsstationen war, wie in der Einleitung erwähnt mit einigen Komplikationen verbunden. Des Weiteren war an der linken Stirnseite der Laseranlage schon ein Schaltschrank für die vorgesehene übergeordnete Anlagensteuerung angebracht.



Abbildung 3: Anlage mit Laser

## 2.1 Betrachtungen zur Maschinensicherheit

In der Anlage befinden sich Teilsysteme unterschiedlicher Gefährdungspotenziale. Als erstes kann der Laser genannt werden. Er birgt ein sehr hohes Gefährdungspotential, weil er irreversible, bis tödliche Verletzungen verursachen kann. Von daher sind unbedingt Schutzmaßnahmen zu ergreifen, um das Risiko einer Verletzung zu mindern. Die Voraussetzung für eine geeignete Schutzmaßnahme ist eine Leistungsfähigkeit von Performance Level (PL) e nach EN ISO 13849-1 oder Safety Integrity Level (SIL) 3 nach EN IEC 62061.

Die in der aktiven Schutzeinhausung verwendeten Laser-Spy-Sensoren erfüllen diese Maßgabe. Allerdings nur solange alle Schutztüren geschlossen sind. Da dies jedoch

nicht immer gewährleistet werden kann, wenn Arbeiten bei geöffneten Türen vonnöten sind, müssen weitere Maßnahmen für diese Fälle ergriffen werden.

Als zweites können die Antriebe und Achsen der Positioniersysteme in der Anlage genannt werden. Sie bergen die Gefahr von Quetschungen und Prellungen, die aber in der Regel nicht tödlich sind. Sie verlangen geschätzt PL e nach EN ISO 13849-1 oder SIL 1 nach EN IEC 62061. Dies ist bei geschlossenen Schutztüren auch gewährleistet, jedoch sind viele Arbeiten, wie Einstellung und Justage nur bei geöffneten Türen möglich. Da die Steuerungen allerdings keinen Einricht-Modus unterstützen, der durch Totmannschalter oder eine Zweihandbedienung geschützt ist, müssen auch für diesen Fall weitere Maßnahmen ergriffen werden.

### **3 Projektierung und Planung des Schaltschranklayouts**

Neben dem Umbau der vorhandenen Verkabelung, konzentrierten sich die Planungen hauptsächlich auf den Schaltschrank.

Für die meisten Funktionalitäten stand schon im Voraus fest, welche Komponenten von welcher Firma verwendet werden sollten. Es wurde vorrangig Material verwendet, welches schon im Labor vorhanden war und/oder früher schon erfolgreich an anderer Stelle eingesetzt worden ist, um die Kosten gering zu halten und um sich nicht langwierig mit unbekannten Technologien auseinandersetzen zu müssen. Somit war von Anfang an klar, dass Steuerungen von Wago und Sick zum Einsatz kommen sollten.

Die Wago-Steuerung hat die Vorteile, dass sie vergleichsweise günstig ist, die Möglichkeit bietet, schnell und einfach Steppercontroller anzukoppeln und das System bereits in anderen Anlagen erfolgreich im Einsatz ist. Die Sicherheits-SPS von Sick ist ebenfalls erprobt und stand einsatzbereit zur Verfügung.

Die Stromversorgung der Steuerungen sollte – wie auch die der Vakuumpumpen und Computermonitore – über eine An/Aus-Taster-Kombination am Schaltschrankgehäuse vom Bediener manuell zuschaltbar sein. Lediglich eine Service-Steckdose und eine Steckdose für die Steuerrechner sind immer ein, sobald der Hauptschalter an ist. Als weitere Bedienelemente waren fünf beleuchtete Taster zur Wahl der Bearbeitungsstationen und Steuersignalquellen, sowie einer zum Reset nach einem Fehlerfall, vorgesehen.



#### 4 Bestückung des Schaltschranks mit allen notwendigen Komponenten

Der Schrank ist 1m breit, 1m hoch und 30cm tief. Er beinhaltet eine 940x955mm große Montageplatte, auf der alle Komponenten in funktionellen Gruppen auf Hutschienen geklemmt und alle Kabel in Kabelkanälen untergebracht sind.

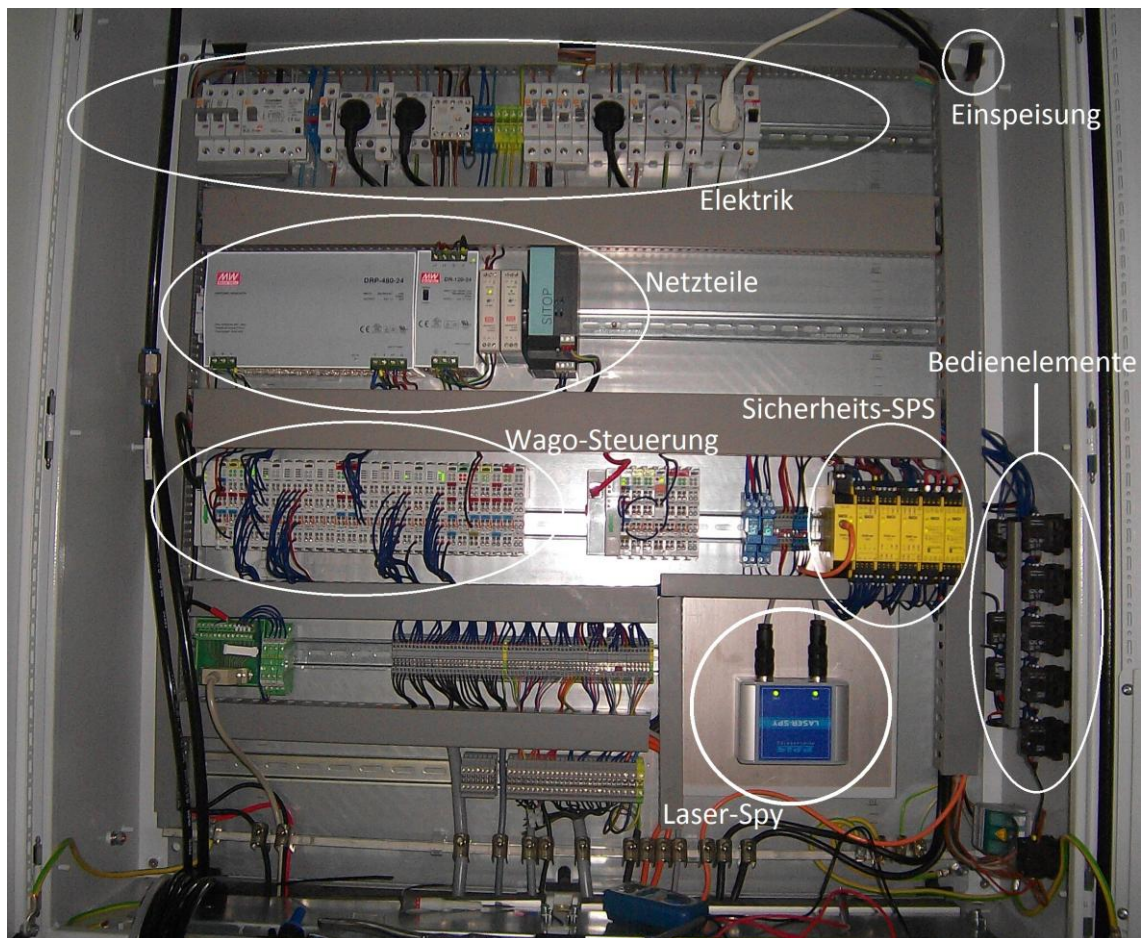


Abbildung 4: Bestückter Schaltschrank

Im oberen Abschnitt befindet sich die Einspeisung der Versorgungsspannung mit diversen Sicherungen, Schutzkontaktsteckdosen und der Selbsthalteschaltung. Hier können Spannungen von bis zu 400V AC auftreten.

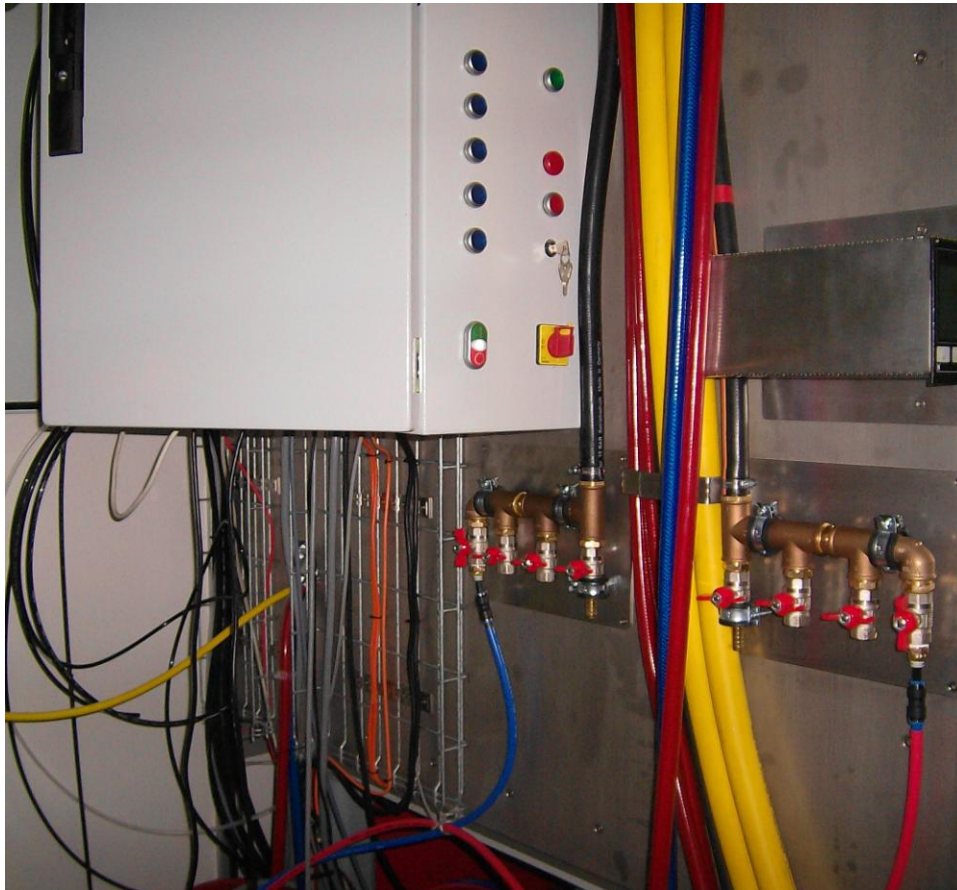
Darunter sind alle Netzteile für die Versorgung mit Gleichspannung bis 24V angebracht. Hier können noch Spannungen von bis zu 230V AC an den Eingangsklemmen der Netzteile auftreten.

Diese beiden Ebenen sind auf einer Höhe von über 195cm außerhalb der normalen Arbeitshöhe des Bedieners oder der Wartungsperson und sind so direkt gegen Berührung geschützt.

Darunter befinden sich die Wago-Steuerung, die Sicherheits-SPS und einige Relais zum Durchschalten von schaltschrankinternen und -externen Signalen wie zum Beispiel Laser-Reset.

Weil alle Leitungen aus den Stationen wegen der aktiven Schutzeinhausung nur nach unten ausgeführt werden können, sind alle Kabel, die in den Schaltschrank gehen durch das Bodenblech geführt und auf zwei Reihen Phoenix Contact Durchgangsklemmen aufgelegt. Von da aus werden sie im Schrank verteilt. Nur die Einspeisung und die Kabel der Türsensoren kommen von oben und werden deshalb durch eine Aussparung im Dachblech in den Schrank geführt.

Um die Bedienelemente gut erreichen zu können sind sie an der Seite des Schrankes angebracht. Es wurden Durchführungen gebohrt damit ihre Anschlüsse direkt im Innern sind.



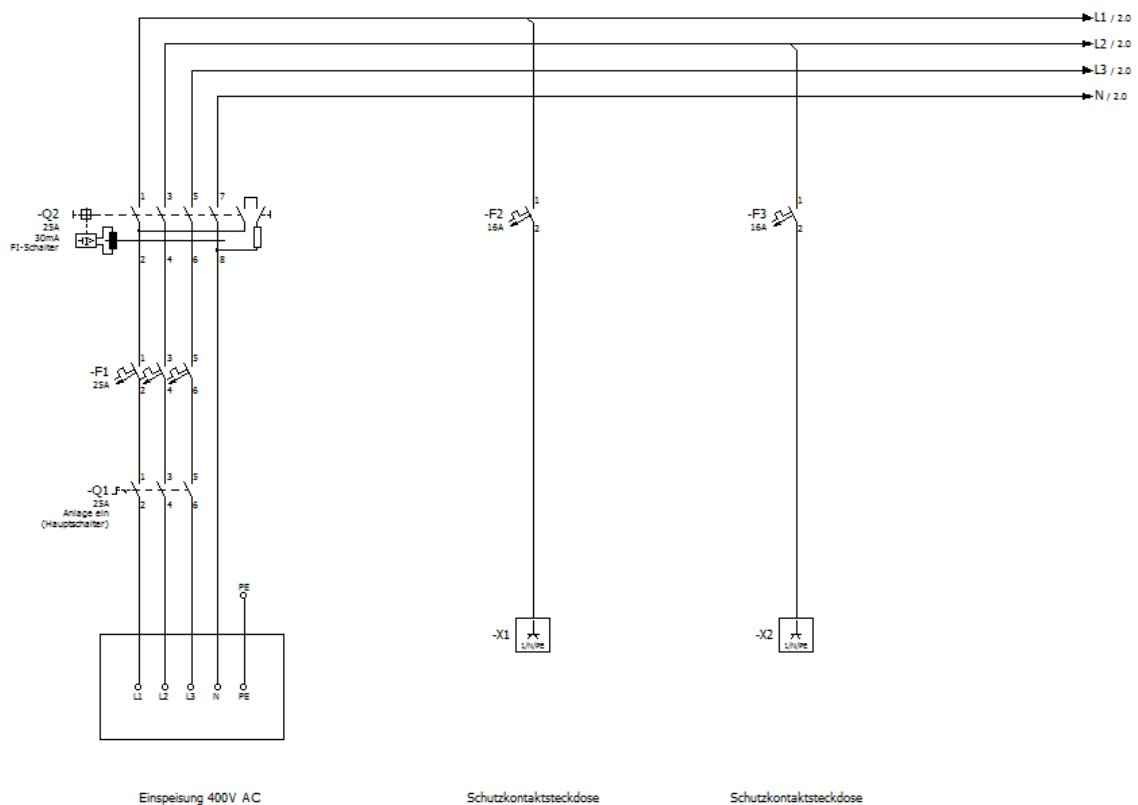
**Abbildung 5: Bedienelemente**

#### **4.1 Installation der Hauptstromversorgung**

Die Energieversorgung für die gesamte Anlage erfolgt durch Dreiphasenwechselstrom mit 400V zwischen den Außenleitern. Die Verlegung des 32A-Starkstromkabels wurde von einer Elektrofachkraft übernommen. Das Kabel endet an einem drehbaren Hauptschalter, mit dem die ganze Anlage stromlos geschaltet werden kann und welcher somit auch einen Notaus-Schalter darstellt. Die einzige Stelle, an der auch im ausgeschalteten Zustand eine Spannung anliegt ist vor dem Hauptschalter.

Von da aus geht die Verbindung über einen 3-poligen 25A-Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) um die Betriebsmittel vor Überlastung zu schützen. Weil in der Anlage auch Medien wie Kühlwasser geführt werden, ist ein 4-poliger 25A-Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von 30mA installiert.





**Abbildung 6: Einspeisung**

Nach dem FI-Schalter sind zwei Schutzkontaktsteckdosen jeweils über einen LS-Schalter geschützt. Die erste Steckdose ist für die Steuerrechner und die Aerotech-Steuerung, welche nicht ohne weiteres ausgeschaltet werden dürfen, ohne mit dem Verlust von Daten rechnen zu müssen. Deshalb ist eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) in deren Zuleitung eingefügt, die vor Stromausfällen und anderen Störungen im Stromnetz schützt. Die zweite Steckdose dient Servicezwecken, wie z.B. für Beleuchtung und elektrische Geräte, die bei Arbeiten im und am Schrank benötigt werden könnten.

Mit einem Schütz, einem An-Taster als Schließer und einem Aus-Taster als Öffner wird eine Selbsthalteschaltung realisiert, mit der zum einen die Steckdosen für Beleuchtung in der Anlage, einem Ethernet-Switch und anderen Kleingeräten zugeschaltet werden und zum anderen die Netzteile.

Die Selbsthalteschaltung hat vor allem den Sinn, dass die Anlage nicht direkt durch den Hauptschalter eingeschaltet werden kann, sondern erst durch einen bewussten Tasterdruck.

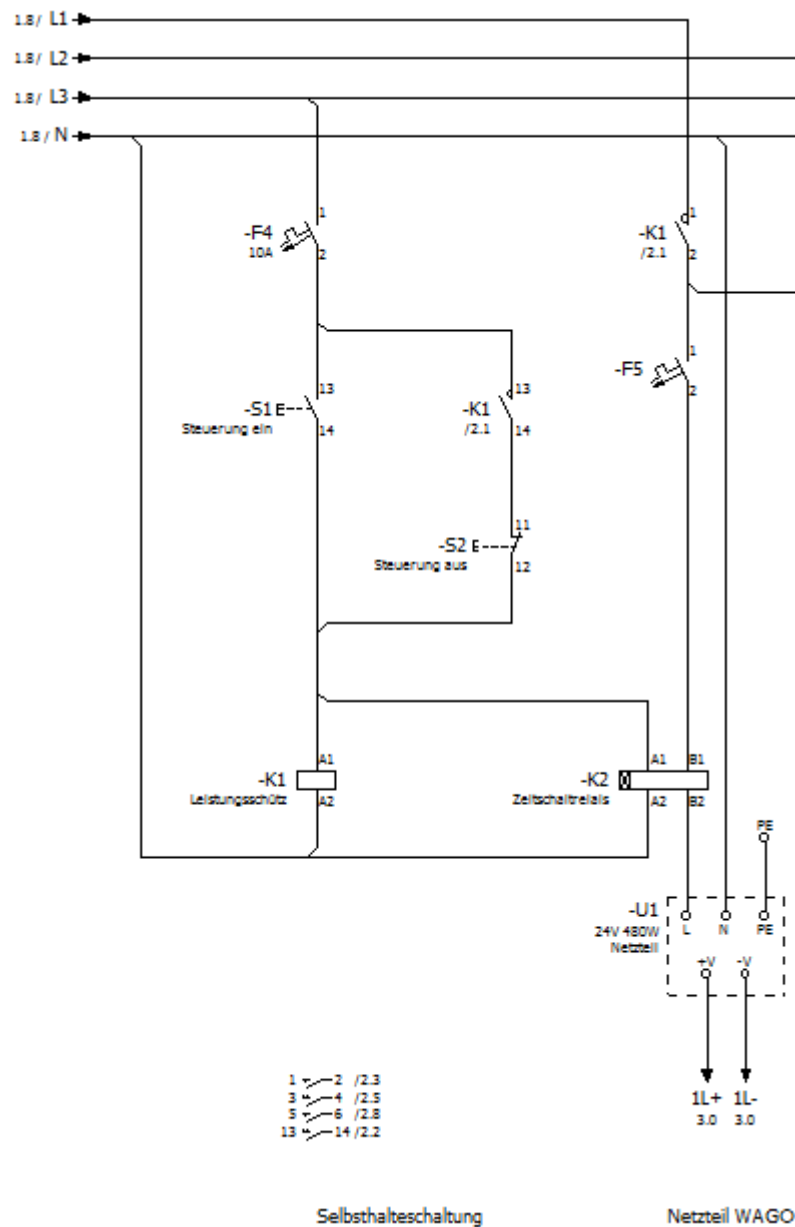


Abbildung 7: Selbsthalteschaltung

Das 480W Netzteil, für die Wago-Steuerung und einige Steppercontroller der Achsantriebe in der Sinter-Anlage, wird über ein Zeitschaltrelais etwas verzögert aktiviert, um eventuelle Stromspitzen nicht gleichzeitig auftreten zu lassen.

Die Spulen des Schütz und des Zeitschaltrelais sind gemeinsam durch einen weiteren LS-Schalter geschützt. Alle drei LS-Schalter klemmen jeweils an einer der drei Phasen. Damit ist aufgrund der unterschiedlichen Verbraucher keine symmetrische Lastverteilung gewährleistet, was jedoch nicht zwingend notwendig ist, da ein entsprechender Ausgleichsstrom über den Neutralleiter fließen kann.

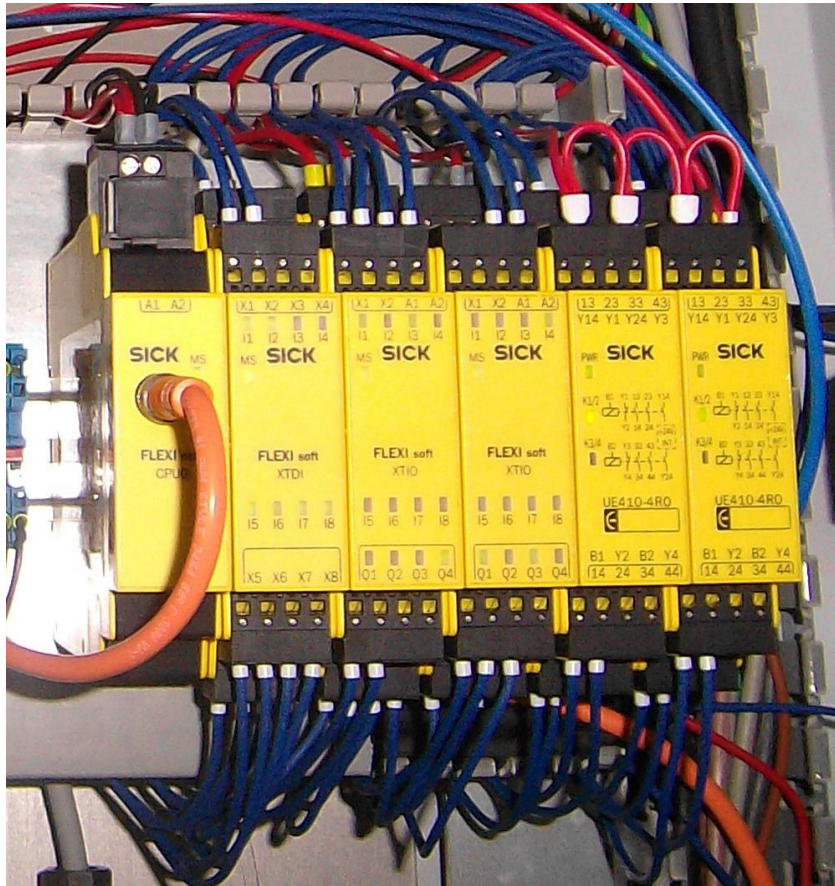
Im Schaltschrank befinden sich insgesamt fünf Netzteile. Sie versorgen sämtliche Steuerungen, Antriebe und Sensoren der unterschiedlichen Spannungsebenen mit Strom.

- 24V DC / 20A für Wago-Steuerung und Antriebe in der Sinterkammer
- 24V DC / 5A für Sicherheits-SPS
- 5V DC / 3A für Drucksensoren und 5V-Spannungsebene der Wago-Steuerung
- 12V DC / 1,67A noch nicht in Nutzung
- 24V DC / 5A für eine weitere Wago-Steuerung zur Zuschaltung von Prozessgasen

## **4.2 Installation der Sicherheits-SPS**

Die Sicherheitssteuerung "Flexi Soft" der Firma Sick AG ist eine modular erweiterbare und programmierbare Steuerung. Im vorliegenden Fall besteht sie aus folgenden Modulen:

- 1x FX3-CPU0 Hauptmodul
- 1x FX3-XTDI Eingangserweiterung
- 2x FX3-XTIO Ein-/Ausgangserweiterungen
- 2x UE410-4RO Relais-Ausgangserweiterungen



**Abbildung 8: Sick Sicherheits-Steuerung**

Hier laufen alle zeitkritischen Sicherheitselemente zusammen: sämtliche Not-Halt-Taster, Laser-Spy-Sensoren, Türsensoren usw. Um welche es sich genau handelt, ist in den Abschnitten des fünften Kapitels aufgeschlüsselt.

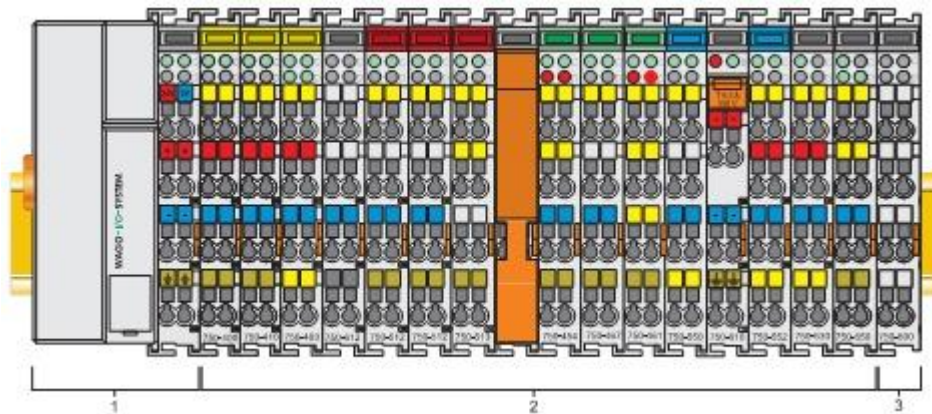
Das Hauptmodul besitzt eine RS-232-Schnittstelle für Up- und Download von Konfigurationen aus dem sogenannten Flexi Soft Designer. Die softwaremäßige Erstellung einer solchen Konfiguration ist in Kapitel sechs beschrieben. [3]

#### **4.3 Installation der Wago-Steuerung**

Die Wago-Steuerung bildet sozusagen das Herzstück der Anlage, weil fast alle Betriebsmittel direkt oder indirekt mit ihr in Verbindung stehen. Das sind zum einen die Stationswahltaster und die entsprechenden Elemente, die die Umschaltung realisieren, samt Feedback und zum anderen prozessbegleitende Elemente, wie z.B. die Laser-

Ansteuerung über die Hardwiring-Schnittstelle und die Elemente zur Evakuierung der Sinterkammer.

Dabei kombiniert der programmierbare Feldbus-Controller 750-841 die Funktionalität eines Kopplers zur Anschaltung an den Feldbus EtherNet/IP (Industrial Protocol) mit der einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS).



**Abbildung 9: Feldbusknoten [4]**

Der Feldbusknoten der Laseranlage ist aus folgenden Busklemmen aufgebaut:

- 1x 750-841 Programmierbarer Feldbus-Controller mit Ethernetschnittstelle
- 2x 750-403 4x DI 24V DC
- 6x 750-430 8x DI 24V DC
- 2x 750-504 4x DO 24V DC
- 6x 750-530 8x DO 24V DC
- 1x 750-459 4x AI 0-10V DC
- 1x 750-601 Potentialeinspeisung (hier 5V DC)
- 1x 750-414 4x DI 5V DC
- 1x 750-519 4x DO 5V DC
- 6x 750-614 Potentialvervielfältigungsklemme
- 1x 750-600 Bus-Endklemme

## 5 Verknüpfung aller Geräte und Komponenten der Anlage

Nachdem der Schaltschrank aufgebaut ist, müssen nun noch die einzelnen Bestandteile der Laseranlage miteinander verbunden werden. Im Folgenden sind die wichtigsten aufgeführt.



Abbildung 10: Gesamte Anlage

### 5.1 Not-Halt-Taster

Es befinden sich drei Not-Halt-Taster unmittelbar an der Anlage und einer an der Vorderseite des Lasers. Bei Betätigung eines einzelnen öffnet sich der Sicherheitskreis und die Relais, die die Versorgung für den Laser und alle Antriebe schalten fallen ab. Somit ist die gesamte Anlage stillgesetzt und kann erst wieder in Betrieb genommen werden,



wenn der betätigte Not-Halt-Taster durch Drehen wieder entriegelt wird und ein Reset durch Drücken des entsprechenden Reset-Tasters erfolgt. Alle Taster müssen zweikanalig ausgeführt sein, um die Norm EN 954-1 Kat. 3 zu erfüllen. Die jeweils doppelt vorhandenen Öffner sind an zwei überwachten Eingängen der Sicherheitssteuerung angeschlossen, um auch Kurz- und Querschlüsse zu erkennen.

Die Not-Halt-Taster erhöhen vor allem bei Arbeiten mit offenen Schutztüren die Sicherheit für das Bedienpersonal auf ein vertretbares Level.

## 5.2 Laser-Spy-Sensoren

Die Laser-Spy-Sensoren überwachen den Hohlraum zwischen den Wänden der doppelwandigen Schutzeinhausung und detektieren eintretende Laserstrahlung. Sobald einer der Sensoren auslöst, weil ein Laserstrahl die Innenwand durchdrungen hat, öffnet die sensorinterne Auswerteelektronik den Sicherheitskreis, das Netzteil des Lasers wird ausgeschaltet und somit die Emittierung des Laserstrahls beendet. Die Strahlungsquelle muss ausgeschaltet sein bevor die äußere Schutzwand durchdrungen ist, um die DIN EN 60825-4 zu erfüllen.

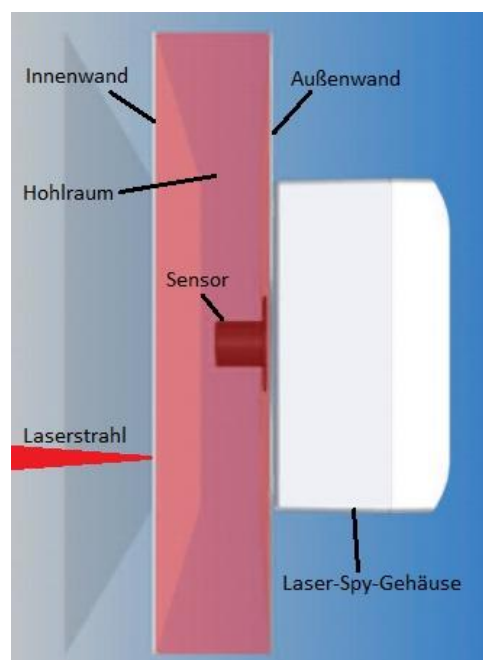


Abbildung 11: Laser-Spy-Sensor [5]

Sieben dieser Laser-Spy-Sensoren sind rings um die Anlage angebracht. Jeweils einer an den drei Türelementen an der Frontseite, den zwei Türelementen an der Rückseite und den Seitenwänden rechts und links. Dadurch ist das Laborpersonal ausreichend geschützt, wenn es sich neben der Anlage aufhält, was im normalen Betrieb auch der Fall ist. Am Boden und am Dach sind auch deshalb keine Laser-Spy-Sensoren vorgesehen, weil der Bau der entsprechenden doppelwandigen Kabinenelemente sehr aufwendig wäre, denn nach unten sind alle Leitungen geführt und oberhalb der Anlage befindet sich eine Abzugseinrichtung, für die Durchbrüche gemacht werden müssten.

Die Sensoren sind in Reihe geschaltet und genau wie die Not-Halt-Taster zweikanalig ausgeführt und an einem überwachten Eingang der Sicherheitssteuerung angeklemmt.

### **5.3 Türsensoren**

Die Türsensoren sind induktive Näherungsschalter vom Typ CONTRINEX DW-AS-503-M8-001. Sie sprechen an, wenn die an den Türen befestigten Stahlbleche auf mindestens drei Millimeter herangekommen sind und die Schiebetüren somit sicher geschlossen sind. Es befinden sich insgesamt sechs solcher Sensoren an den Türen der Anlage. Jeder ist an einem geprüften Eingang der Sicherheits-SPS angeklemmt und jeweils drei werden über einen Testausgang gespeist. In Ausnahmefällen können die Türsensoren überbrückt werden, wie zum Beispiel für Demonstrationszwecke, Einrichtung-/Justagevorgänge oder wenn von außen ein Bearbeitungsvorgang gefilmt werden soll und dafür die Türen teilweise offen sein müssen. Dies ist jedoch nur ausgebildetem Personal möglich, das seine Autorität mittels eines Schlüsselschalters belegen muss.

### **5.4 3kW Monomode Faserlaser**

Der YLR- 3000 Serie CW Ytterbium Faser Laser ist ein Hochleistungslaser, der für den industriellen Gebrauch und für Forschungseinrichtungen entwickelt wurde und bei einer Wellenlänge von und um 1070nm eine optische Leistung von 3000 Watt produziert. Es handelt sich um einen Monomode-Laser, dessen Strahlung von hoher Qualität ist und über ein 4m langes Lichtleitkabel zur Verfügung gestellt wird. Der Strahldurchmesser an der Auskoppelfaser beträgt 30µm. [1][2]



Zur Kontrolle und Überwachung verfügt der Laser über eine Reihe unterschiedlicher Schnittstellen:

- Analog (Kontrolle und Modulation des Pumpstroms der Laserspumpdioden)
- Ethernet (Kommunikation mit einem externen PC für Laserüberwachung und –kontrolle mittels LaserNet)
- Emission EIN/AUS (Digitale Modulation des Lasers)
- Hardwiring (Laserkontrolle über Wago-Steuerung)

Außerdem gibt es eine Sicherheitsschnittstelle. Sie stellt die Verbindung zwischen externen Not-Halt-Tastern und dem internen Sicherheitssystem dar. Wenn der externe Notaus-Kreis geöffnet wird, wird damit auch der interne Notaus-Kreis geöffnet. Genauso ist der Not-Halt-Taster am Laser in die Schleife der externen Not-Halt-Taster eingeschleift und sogar funktionstüchtig wenn der Laser selbst ausgeschaltet ist.

Zusätzlich kann durch Anlegen von +24V zwischen zwei Pins die Laseremission eingeschaltet werden. Über diese Schnittstelle ist auch der Betrieb im Externen Modulationsmodus mittels eines Handbediengerätes möglich.

Eine detaillierte Funktionsbeschreibung der Schnittstellen ist dem Handbuch des Lasers und im Anhang unter A3 zu entnehmen.

## **5.5 Aerotech-Steuerung**

Die Aerotech-Steuerung Npaq ist ein hochintegrierter 19-Zoll-Einschub-Baugruppenträger für bis zu 6 digitale Verstärker (PWM oder linear) zur Versorgung von bürstenlosen, bürstenkommutierten Motoren oder Schrittmotoren. An diesen sind die Linearantriebe und Encoder des Koordinatentisches in der rechten Bearbeitungsstation angeschlossen.

Die Steuerung ist über ein Steuerprogramm und einen Echtzeitkernel unter MS Windows realisiert und kommuniziert über FireWire (IEEE-1394) mit den Treibern.

Sie besitzt unter anderem einen Notaus-Eingang, der mit der Sicherheits-SPS verbunden ist. Wenn der externe Notaus ausgelöst wird, fällt das Sicherheitsrelais der Sick-Steuerung ab, die Verbindung zwischen Pin9 und Pin7 bzw. Pin8 der Notaus-Schnittstelle wird geöffnet und die internen Relais unterbrechen die Stromversorgung der Antriebe.

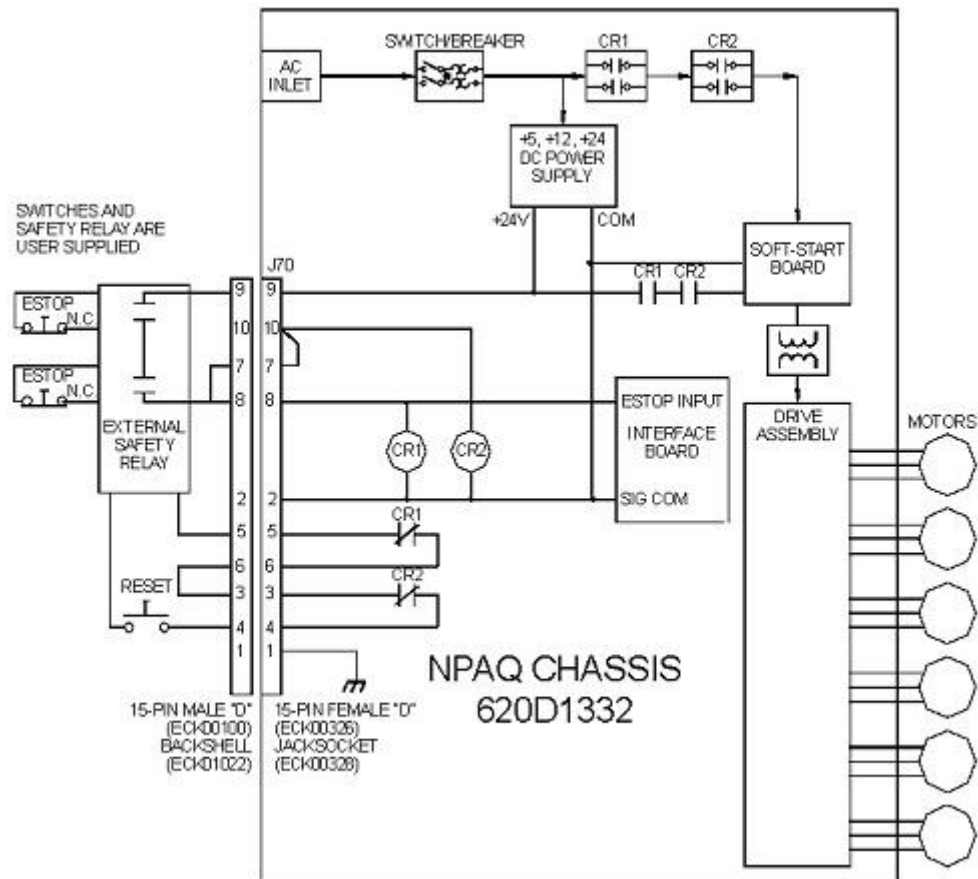


Abbildung 12: Notaus-Schnittstelle der Aerotech [6]

Die Aerotech-Steuerung verfügt auch über Ausgänge, über welche der Laser und diverse Peripherie, wie z.B. Gas angesteuert werden kann.

## **5.6 RTC3 PC-Interfacekarte**

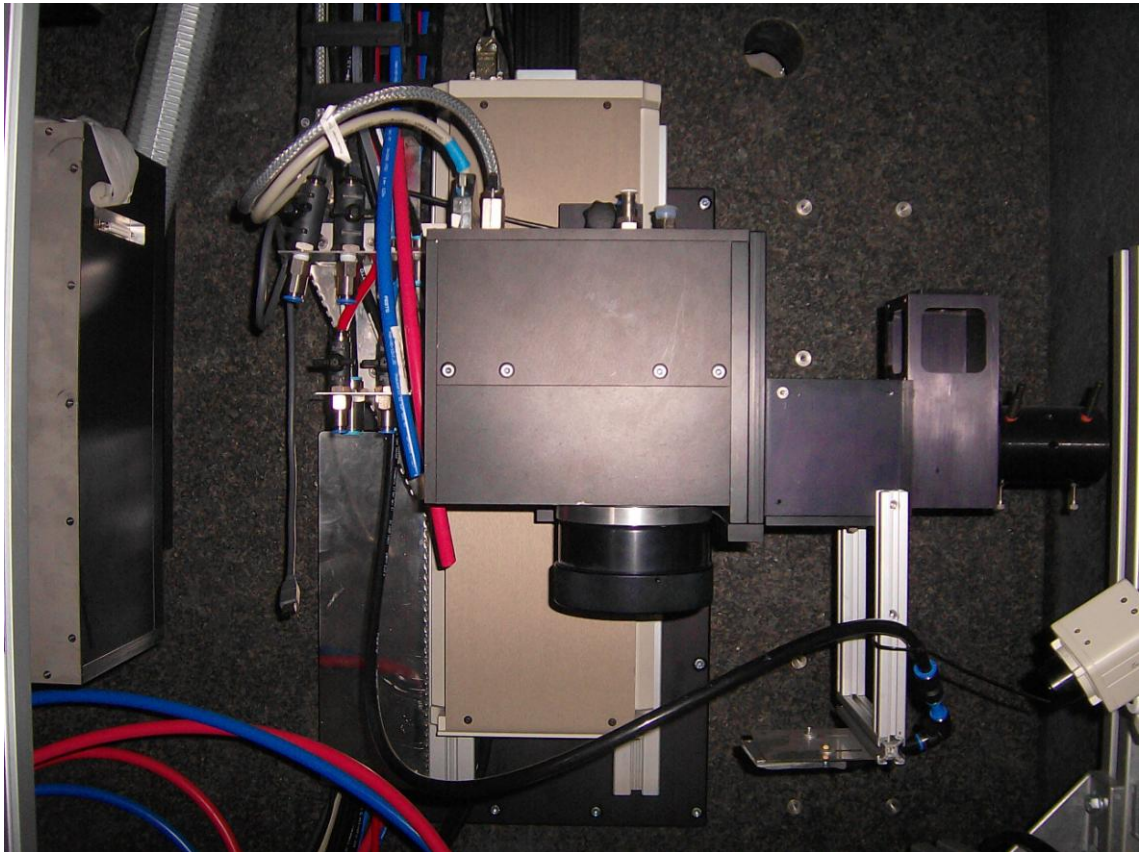
Die RTC3 PC-Interfacekarte ermöglicht zusammen mit der dazugehörigen Software die Scan-Kopf- und Lasersteuerung in Echtzeit. Sie befindet sich an einem freien PCI-Steckplatz eines PCs. Der RTC-Softwaretreiber stellt eine Reihe verschiedener Befehle zur Verfügung, die die RTC zu entsprechenden Steuersignalen aufbereitet und in 10µs-Intervallen über eine 25-polige Sub-D-Buchse an den Scanner sendet. Im Scan-Kopf richten die Galvanometer-Scanner ihre Ablenkspiegel im Takt der empfangenen Steuersignale exakt aus. Mittels Softwarebefehlen ist über die RTC auch der aktuelle Zustand eines Scan-Kopfs abrufbar. Die Kommunikation zwischen RTC und Scanner erfolgt digital gemäß dem XY2-100-Protokoll. [7]

## **5.7 Laserscanner**

Ein Scanner ist ein Gerät, welches Laserstrahlen durch Reflexion an einem oder mehreren beweglichen Spiegeln im Scan-Kopf ablenkt. Die Winkeländerung der Spiegel wird durch einen Galvanometerantrieb oder ein sich drehendes Spiegelprisma (Polygon) bewerkstelligt.

Beide Prinzipien kommen in den Laserscannern der hier beschriebenen Anlage zum Einsatz. Die Steuerelektronik erhält Steuersignale für die Antriebe der Spiegel von der oben erwähnten RTC PC-Interfacekarte und die Spannungsversorgung übernimmt ein Netzteil in der Unterschränkkonstruktion der Anlage.

Ist die Laserstrahlleistung – wie in diesem Falle – ausreichend groß, kann die gescannte Oberfläche bearbeitet werden. Die hier eingesetzten Scan-Köpfe werden zum Beispiel zum Schweißen, Schneiden und Strukturieren eingesetzt.



**Abbildung 13: Scan-Kopf**

## **5.8 Sinterkammer (Vakuumpumpen und Drucksensoren)**

Im linken Abschnitt der Laser-Anlage ist eine Sinterkammer untergebracht. Hier können aus ultrafeinem Pulver Mikro-Bauteile hergestellt werden. Dazu ist ein Vakuum nötig. Um die Kammer zu evakuieren gibt es einige Vakuumpumpen und eine Reihe Luftdrucksensoren zur Überwachung. Diese sind zwar schon aufgebaut, jedoch noch nicht angeschlossen, sollen aber später von der Wago-Steuerung kontrolliert werden.

## **5.9 Ventile zur Spiegelsteuerung**

Um den Laserstrahl vom Ende des Lichtleitkabels zum gewünschten Einsatzort zu leiten, sind hauptsächlich im rückwärtigen Teil der Anlage Umlenkspiegel installiert. Diese sind teilweise auf Schlitten angebracht, welche an pneumatischen Zylindern befestigt sind und mittels einer Festo Ventilinsel hin und her gefahren werden können. So ist es möglich, den Laser nur durch Verschiebung der Spiegel wahlweise an der einen oder

der anderen Bearbeitungsstation zur Verfügung zu haben. An den pneumatischen Zylindern befinden sich Endlagenschalter, um die korrekte Stellung der Spiegel sicher überwachen zu können. Die gesamte Sensorik und Aktorik wird durch die Wago-Steuerung koordiniert.

## **5.10 Realisierung der Signalumschaltung**

Die Steuersignale für den Laser haben, je nach Bearbeitungsstationswahl unterschiedliche Quellen. Mittels einer Elektronikschaltung soll – gleichzeitig mit dem Tasterdruck zur Stationswahl – die entsprechende Signalquelle gewählt werden, ohne die Kabel umstecken zu müssen.

Die zu schaltenden Signale sind folgende:

- Laser ON (digital, startet die Laseremission)
- Puls (digital, gepulst, zur Modulation des Lasers)
- Analog1 (analog, zur Einstellung der Laserleistung)
- Analog2 (analog, zur Einstellung einer Schnellen Strahl-Steuerung)

Über binär codierte Eingänge eines Multiplexers wird die gewünschte Quelle dieser Signale ausgewählt und durch ein Freigabe-Bit an den Laser bzw. die Schnelle Strahl-Steuerung geleitet.

## 6 Programmierung der Sicherheits-Steuerung

Wie in Kapitel 4.2 erwähnt besitzt das Hauptmodul der Sicherheitssteuerung eine RS-232-Schnittstelle zur Verbindung mit einem PC. Auf diesem muss dazu der Flexi Soft Designer installiert sein. Im Hardwarekonfigurator der Software wird zunächst die Zusammenstellung der Flexi-Soft-Module der real vorliegen Konstellation nachgebildet. Dann können die erforderlichen Sensoren und Aktoren im Drag&Drop-Prinzip "verdrahtet" werden.

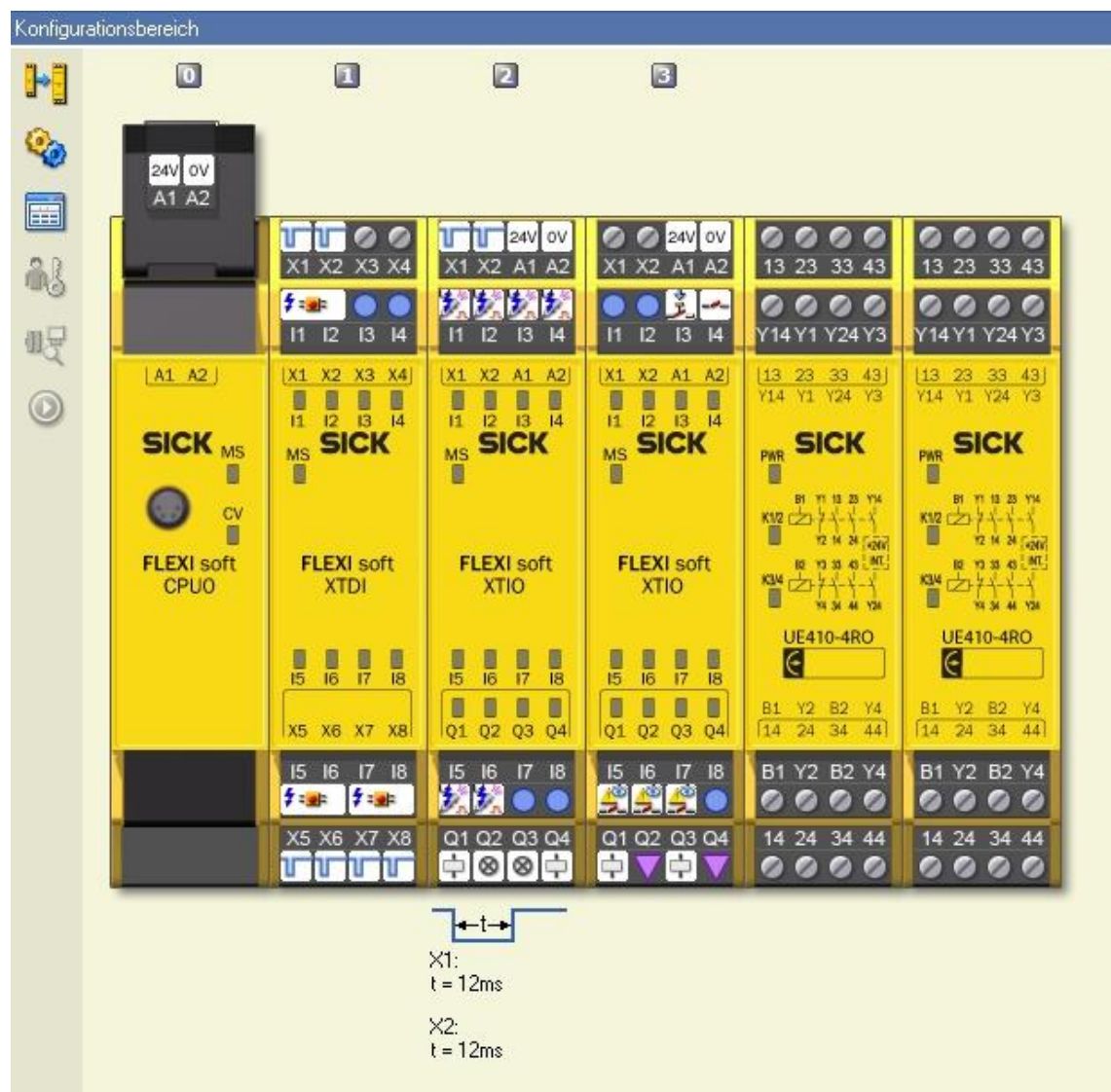


Abbildung 14: Hardwarekonfiguration

Die Not-Halt-Geräte am ersten Modul sind zweikanalig ausgeführt und werden laufend getestet. Damit besteht erstens eine Redundanz und zweitens weiß man, ob die Sicherheitssysteme noch funktionieren. So können Kurz- und Querschlüsse sowie das Ausfallen einer der Öffner durch Kontaktverschweißung erkannt und das simple Anschließen von 24V an einen Eingang wirkungslos gemacht werden.

Die Anschlüsse X1/X2, X5/X6 und X7/X8 sind Testausgänge an denen ein gepulstes Signal anliegt. Dabei führen die ungradzahligen Testausgänge ein anderes Signal als die gradzahligen Ausgänge. An den Eingängen I1/I2, I5/I6 und I7/I8 müssen diese Signale (mit einer gewissen Toleranz) wieder detektiert werden, um logisch "High" zu sein.

Angeschlossen sind hier die Laser-Spy-Sensoren, die Not-Halt-Taster unmittelbar an der Anlage und der Not-Halt-Taster an der Front des Lasers, der auch den Sicherheitskreis öffnet, wenn der Laser aus ist.

Am zweiten Modul sind unter anderem die Sensoren zur Tür-Überwachung angeklemt. Diese Sensoren sind zwar für den Betrieb mit Gleichspannung ausgelegt, können aber trotzdem mittels eines modifizierten Testsignals mit einer längeren Testlücke (12ms statt 1ms) als testbare Sensoren betrieben werden. Die Sensoren an I1, I3 und I5 bekommen ihre Versorgungsspannung vom Testausgang X1, während die an I2, I4 und I6 von X2 gespeist werden.

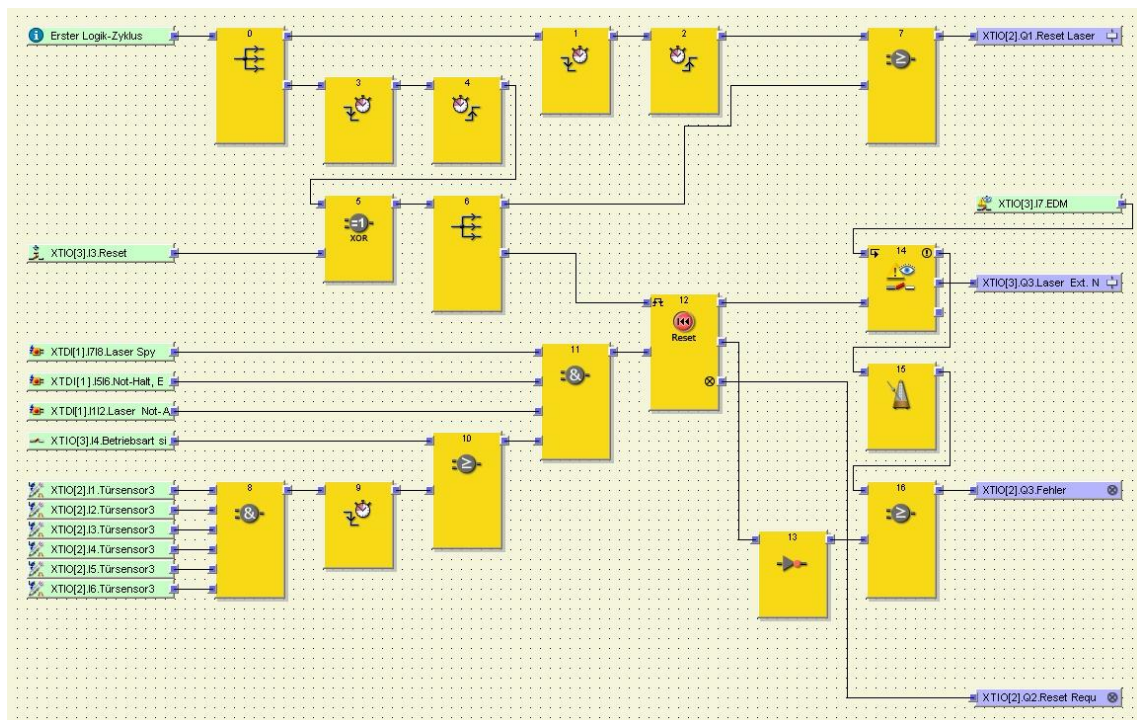
Q1, Q2, Q3 und Q4 sind normale Ausgänge. Q1 schaltet ein Relais welches einen Reset-Impuls mit ausreichend steiler Flanke an die Laser-Spy-Sensoren und den Laser sendet. Dadurch werden die Laser-Spy-Sensoren „scharfgeschaltet“. Q2 steuert eine LED zur Anzeige eines Reset-Bedarf, während Q3 einen Fehler anzeigt.

Die Ausgänge Q4, sowie Q1 und Q3 des dritten Moduls schalten jeweils ein überwachtes Sicherheits-Relais. An Q4 hängt das in Kapitel 5.5 beschriebene Relais für den externen Notaus der Aerotech-Steuerung, mit dem Relais an Q1 wird die Versorgungsspannung der Steppercontroller für die Antriebe in der Sinterkammer zugeschaltet und das Relais an Q4 signalisiert dem 3kW-Laser, dass der Sicherheitskreis geschlossen ist.



I5, I6 und I7 am dritten Modul sind Eingänge zur Schutzüberwachung der oben erwähnten Relais. An I3 ist der Reset-Taster geklemmt und an I4 der Schlüsselschalter zur softwaremäßigen Überbrückung der Türsensoren für die in Kapitel 5.3 genannten Fälle.

Nun können die projektierten Ein- und Ausgangsfunktionalitäten im Logikeditor des Flexi Soft Designers mit einer Reihe Funktionsblöcken per Drag&Drop verknüpft werden, um die gewünschte Gesamtfunktionalität zu erhalten: Im ersten Logik-Zyklus und bei Betätigung des Reset-Taster, „Scharfschalten“ der Laser-Spy-Sensoren und Freigabe, die Lasernetzteile anzuschalten, falls alle Sicherheits-Elemente aktiv sind (siehe Abbildung 15).



**Abbildung 15: Logikeditor Seite1**

Die Steppercontroller und die Antriebe der Aerotech-Steuerung werden nur bei Betätigung eines Not-Halt-Tasters stromlos geschaltet. So können sie z.B. für Justagezwecke auch bei offenen Türen eingesetzt werden (siehe Abbildung 15).



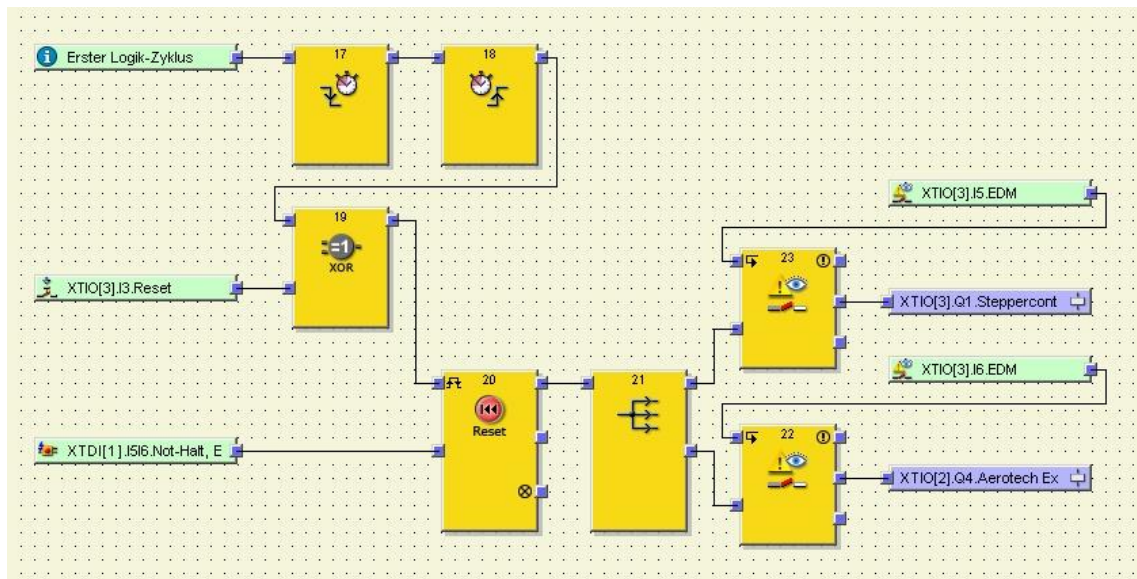


Abbildung 16: Logikeditor Seite2

## **7 Programmierung der Wago-Steuerung**

Die Programmierung der Wago-Steuerung erfolgte mit der Entwicklungsumgebung CoDeSys in der IEC 61131-3 konformen Sprache ST (Strukturierter Text).

Auf der SPS laufen drei Programme. Zum einen das MAIN-Programm, das zyklisch alle 20ms aufgerufen wird und zum anderen die Programme namens STATIONSWAHL und LASERSTEUERUNG, die beide in MAIN aufgerufen werden.

Die Ein- und Ausgangsvariablen sowie einige Betriebszustandsmerker sind als global deklariert. Dadurch wird ermöglicht, dass die einzelnen Programme und die Visualisierung zentral auf die Daten zugreifen und gemeinsam nutzen können.

Im Programm STATIONSWAHL werden die Taster zur Stationswahl abgefragt. Sollte der Laser aus sein, werden die Ausgänge zum Stellen der Umlenkspiegel gesetzt. Wenn die Endlagenschalter den korrekten Stand der Spiegel signalisieren, wird die entsprechende LED am Taster angeschaltet und die globale Merker-Variable M\_STATION\_BEREIT gesetzt.

Eine positive Flanke an dieser Variable startet die Schrittkette im Programm LASERSTEUERUNG. Im Verlauf dieser Schrittkette wird der Laser in einen betriebsbereiten Zustand versetzt und ein Ausgang gesetzt, der externen Steuerungen die Betriebsbereitschaft signalisiert. Wird durch die externe Steuerung ihrerseits ein Eingang der Wago gesetzt, so werden die Relais zur Steuersignalübertragung an den Laser geschaltet.

Ist die Laserbearbeitung beendet, wird der Laser in einen sicheren Betriebszustand gesetzt und ist bereit für einen Stationswechsel oder eine erneute Bearbeitung.

Desweiteren wurde eine einfache Visualisierung zusammengestellt, in der die logischen Zustände einiger Variablen angezeigt werden. Hier sind keine Bedienelemente vorgesehen.

## **8 Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Aspekte der Anlagensicherheit erfolgreich umgesetzt worden sind. Die Sicherheits-SPS ist funktionstüchtig und ermöglicht mit den angeschlossenen Sicherheitselementen einen relativ gefahrlosen Betrieb und im Fehler- bzw. Notfall, eine Stillsetzung in eine sichere Lage. Sie erfüllt somit die Grundvoraussetzungen für den Betrieb.

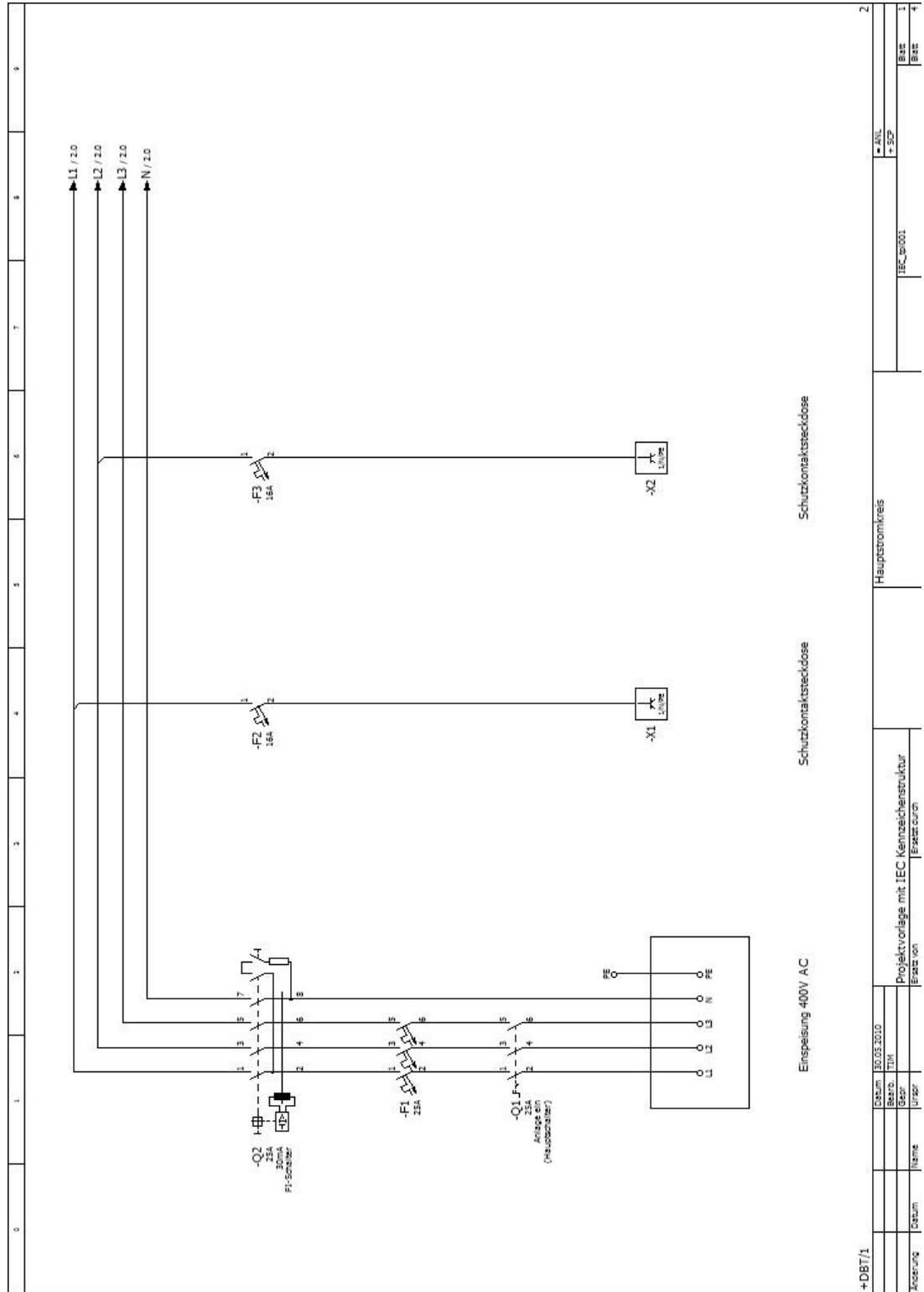
Es ist bereits möglich den Laser über die Hardwiring-Schnittstelle im Roboter-Modus zu betreiben, zu überwachen und an einer Bearbeitungsstation einzusetzen.

Lediglich die Umschaltung zwischen den Bearbeitungsstationen ist noch nicht möglich, weil die Pneumatik für die Verschiebung der Umlenkspiegel und die Elektronik für die Steuersignalumschaltung noch nicht in der Anlage eingebaut sind. Programmtechnisch sind sie aber schon vorgesehen und später leicht zu implementieren.

Ähnlich ist es mit den Vakuumpumpen und Luftdrucksensoren. Die Schrittkette zur Evakuierung muss jedoch noch eingepflegt werden.

Die Vorüberlegungen beschränkten sich nur auf einen groben Entwurf und Funktionalitätsumfang. Die meisten Aspekte wurden erst im Verlauf des Aufbaus hinzugefügt, oder ausgebessert. Dieser Vorgang hält auch nach Abschluss dieser Diplomarbeit an. Sie bildet quasi nur einen Grundstein für den weiteren Ausbau und die komplette Inbetriebnahme der Anlage.

## A1 EPLAN Einspeisung



### Abbildung 17: EPLAN Einspeisung

[illegible]

- 36 -

### A3 Kontroll- und Serviceschnittstellen

NN	Name der Schnittstelle	Funktion	Beschreibung
1	Analog	Kontrolle und Modulation des Pumpstroms der Laserpumpdioden	<p>Anschlussstyp: Han® 7 D, Buchse ist auf der Laserseite</p> <p>Pin 1 - AIN POS</p> <p>Pin 2 - AGND</p> <p>Externer Analoger Spannungseingang 0...+10 VDC.</p> <p>Leistungsausgang Kontrollspannung bei Externer Ansteuerung</p> <p>0V - 10 V korrespondiert zu 0 % - 100% Pumpstrom</p> <p>Statistische Abweichung +/- 2 %</p> <p>Ansprechzeit <math>\leq 50 \mu\text{s}</math></p> <p>Pin 3 – AOUT POS</p> <p>Pin 4 – AGND</p> <p>Analoger Kontrollmonitor. Ausgangsspannung 0... +8VDC</p> <p>0V – 8V korrespondiert zu 0 % - 100% Pumpstrom</p>
2	Ethernet	Kommunikation mit einem externen PC für Laserüberwachung und -kontrolle	<p>Anschlussstyp: HARTING RJ45 DATA 3A PANEL FEED THROUGH</p> <p>Übertragungsrate: 100 Mbit</p>
3	Emission EIN/AUS	Digitale Modulation des Lasers	<p>Pin A1, A2 des Han® 25 D Anschluss</p> <p>0 V – Laser ist AUS, 24 V – Laser ist EIN</p> <p>Maximale Modulationsrate 2 kHz</p>
4	Hardwiring	Laserkontrolle über Roboter	<p>Anschlussstyp: Han® 64 D, Buchse ist auf der Laserseite</p> <p>Alle Eingänge sind Potentialsfrei, siehe Anhang</p> <p>“High Level“ bedeutet aktiv, für alle Eingänge</p> <p>Unterhalb sind die vorläufigen Zuteilungen der Signale. Veränderungen sind nach Absprache mit dem Kunden möglich.</p> <p><b>A1 - Laser Anfordern:</b> High Active. Mit diesem Signal können Sie über einen von mehreren externen Controllern (Robotern) Laserleistung anfordern. Wenn mehrere externe Controller vorhanden sind muss für jeden Controller eine eigenen I/O Karte installiert sein. Auch wenn nur ein Roboter mit dem Laser verbunden ist, muss dieses Bit während des Prozesses immer High sein. Ohne dieses Bit werden alle anderen Eingangs- Bits ignoriert. Als Kontrolle, dass dieser Laser mit einem bestimmten Controller (Roboter) verbunden ist, setzt sich B7 High.</p> <p><b>A2 – Programmstart:</b> High Active. Über diesen Eingang können Sie die Laserprogramme starten und anhalten. Ein Programm wird gestartet, wenn ein Eingang aktiv, also High, ist und wird angehalten, wenn die Eingabe LOW wird oder das Programm beendet ist. Das Programm startet nur einmal. Die Programmnummer ist definiert durch die Bits A8 - A14. Wenn die Programmnummer 0000000 ist und Bit A6 ist High, dann</p>

Abbildung 19: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 1/4 [2]

			<p>wird die Laserleistung vom analogen Eingang kontrolliert. Wenn die Programmnummer 0000000 ist und A6 ist nicht High, dafür aber A3 High ist, kann der Wert der Laserleistung vom Ethernet -Programm bestimmt werden. B1 muss vor dem Programmstart High sein. Nach dem Start des Programms wird das Signal "Programm aktiv" (B9) High sein. B9 wird nach Beendigung des Programms Low (passiv) und B10 (Programm beendet) wird High sein. B10 wird Low, nachdem A2 (Programmstart) Low wurde. (Autonom gesteuert; nicht zulässig wenn die Programmnummer 0000000 ist).</p> <p><b>A3 – Interne Steuerung aktiv:</b> High Active. Es werden einige Kontrollfunktionen des Ethernetprogramms mit diesem Bit ermöglicht.</p> <p><b>A4 – Fehler zurücksetzen:</b> High Active. Benutzen Sie diesen Eingang um alle Nachrichten des Lasersystems und der Ausgangs -Bits auf Low zu setzen: "Störung Laser", "Programm unterbrochen" und "Warnung Ausgang". Der Eingang sollte für wenigstens 1ms High sein.</p> <p><b>A5 - Pilotlaser EIN:</b> High Active. Mit diesem Bit können Sie den Pilotlaser einschalten.</p> <p><b>A6 - Analoge Ansteuerung EIN:</b> High Active. Mit diesem Bit können Sie den Analogen Kontrolleingang aktivieren, wenn die Programmnummer 0000000 ist.</p> <p><b>A7 – Programmende:</b> High Active. Sie können mit diesem Bit aktive Programme unverzüglich anhalten. Wenn dies vor dem Programmende passiert, wird B11 High, B9 wird Low und B10 wird nicht High.</p> <p><b>A8 – Programmnummer (LSB)</b></p> <p><b>A9 – Programmnummer</b></p> <p><b>A10 – Programmnummer</b></p> <p><b>A11 – Programmnummer</b></p> <p><b>A12 – Programmnummer</b></p> <p><b>A13 – Programmnummer</b></p> <p><b>A14 – Programmnummer (MSB)</b></p> <p><b>Jede Änderung der Programmnummer wird ignoriert bis A2 (Programmstart) High wird.</b></p> <p><b>A15 – Synchronisierung Eingang:</b> Dieser Eingang kann im Laserprogramm benutzt werden (warten bis er sich High oder Low setzt).</p>
--	--	--	---

Abbildung 20: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 2/4 [2]



			<p><b>A16 – Gemeinsamer Pin für alle Eingänge (0V)</b></p> <p><b>C1 – Laser EIN:</b> High Active. Diesen Eingang benutzen Sie, um den Laser EIN und AUS zu schalten (Hauptnetzteil). Wenn der Laser nicht eingeschaltet werden kann (Not-Aus-Schleife ist offen), wird B13 High. Um den Laser auf EIN zu schalten, sollten Sie C1 Low und erneut High setzen. Als Kontrolle setzt sich B8 High, wenn der Laser Ein ist.</p> <p><b>C2 – C10 – freier Eingang</b></p> <p>Alle Ausgänge sind potentialfrei, siehe Anhang "High Level" bedeutet aktiv, für alle Eingänge</p> <p><b>B1 - Laser bereit:</b> High Active. Wenn dieser Bit im Zustand High ist, können Sie den Laser durch A2 (Programmstart) starten. Der Laser ist nicht bereit bei einem Chiller Fehler, wenn die Vordertür oder Hintertür am Laser geöffnet ist, die Wassertemperatur des Lasers außerhalb des Bereiches liegt</p> <p><b>B2 – Laserstrahl EIN:</b> High Active. Der Laser emittiert Strahlung. Leistung liegt über <math>0,1 \cdot P_{nom}</math> Watt.</p> <p><b>B3 – Interne Ansteuerung:</b> High Active. Einige Kontrollfunktionen vom Ethernetprogramm sind möglich.</p> <p><b>B4 – Störung Laser:</b> High Active. Anormale Situation im Laser aufgetreten. Modul Überhitzung (<math>t &gt; 35^{\circ}\text{C}</math>), Modul nicht angeschlossen, Faser Unterbrechung, Kopplerfehler, Wasser im Laser, Netzteilfehler, Geringer Wasserdurchfluss im Laser, Geringer Wasserdurchfluss in den Fasersteckern, Unerwarteter Pumpstrom, Unerwarteter Erdschluss, Hohe Rückreflexion, Streulicht, interner Fehler der Strahlweiche. Die Operation wird abgebrochen.</p> <p><b>B5 – Pilotlaser EIN:</b> High Active. Pilotlaser eingeschaltet.</p> <p><b>B6 – Analoge Ansteuerung EIN:</b> High Active. Laser Leistung wird von Analogem Eingang kontrolliert.</p> <p><b>B7 – Laser zugeteilt:</b> High Active. Dies ist die Antwort des Lasers auf Bit A1. Wenn B7 Low ist, werden alle Eingangsinformationen ignoriert.</p> <p><b>B8 – Laser EIN:</b> High Active. Bestätigung, dass Laser EIN ist.</p> <p><b>B9 – Programm aktiv:</b> High Active. Laser führt das Laserprogramm aus.</p> <p><b>B10 – Programm beendet:</b> High Active. Laserprogramm wurde vollständig ausgeführt. B10 wird Low nachdem A2 Low wurde.</p>
--	--	--	--

Abbildung 21: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 3/4 [2]



			<p><b>B11 – Programm unterbrochen:</b> High Active. Das Programm wurde unterbrochen. Setzen Sie A4 (Fehler zurücksetzen) kurz High, um B11 Low zu setzen.</p> <p><b>B12 – Synchronisation Ausgang:</b> High Active. Kann im Laserprogramm benutzt werden (High oder Low).</p> <p><b>B13 – Warnung Ausgang:</b> High Active. Ein Zustand der im Lasersystem festgestellt wird. Der Ausgang wird aktiviert, wenn das Reservemodul aktiviert wird, das Netzteil sich nicht einschaltet obwohl das Signal "Laser EIN" gesendet wurde, bei einem Fehler der Warnleuchten oder wenn eine Modulüberhitzung (<math>t \geq 33^{\circ}\text{C}</math>) vorliegt. Der weitere Laserbetrieb ist möglich. Wenn der Ausgang nicht aktiv ist, arbeitet das System einwandfrei.</p> <p><b>B14 – freier Ausgang</b></p> <p>Potentialfreie, dem Kunden zur Verfügung gestellte Ausgänge.</p> <p>B15 - +24V B16 - 0V Zum Betreiben der Ausgänge. Muss vom Kunden zur Verfügung gestellt werden</p> <p><b>D1 – freier Ausgang</b></p> <p><b>D2 – freier Ausgang</b></p> <p><b>D3 – freier Ausgang</b></p> <p><b>D4 – freier Ausgang</b></p> <p><b>D5 – Kühler Warnung:</b> High active. Leitwert des DI-Wassers <math>\geq 15 \mu\text{S}</math>, die Temperatur des Leitungswasserkreislaufes <math>\geq T_{Th1} - 2^{\circ}\text{C}</math> oder <math>\leq T_{Th2} + 2^{\circ}\text{C}</math>, die Wassertemperatur des DI - Kreislaufes <math>\geq T_{Th3} - 2^{\circ}\text{C}</math> oder <math>\leq T_{Th4} + 2^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p><b>D6 – Kühler Fehler:</b> High active. Leitwert <math>\geq 25 \mu\text{S}</math>, Temperatur des Leitungswasserkreislaufes <math>\geq T_{Th1}^{\circ}\text{C}</math> oder <math>\leq T_{Th2}^{\circ}\text{C}</math>, die Wassertemperatur des DI - Kreislaufes <math>\geq T_{Th3}^{\circ}\text{C}</math> oder <math>\leq T_{Th4}^{\circ}\text{C}</math>, Kühler Fehler</p> <p><b>D7 – Freier Ausgang</b></p> <p><b>D8 – Freier Ausgang</b></p>
--	--	--	---

Abbildung 22: Kontroll- und Serviceschnittstellen Teil 4/4 [2]

#### A4 Sicherheitsschnittstelle

Pin	Name	Beschreibung
A1	Emission EIN	Potentialfreier Eingang, wenn +24V zwischen A1/A2 angelegt werden, wird die Laseremission EIN sein, bei 0V wird die Laseremission AUS sein. Der Eingang kann benutzt werden, wenn die Hardwiringschnittstelle nicht benutzt wird.
A2	Emission EIN	
A3	Emission EIN	Potentialfreier Ausgang, A3 und A5 sind geschlossen wenn die Emission aktiviert wird.
A5	Emission EIN	
B3	Not-Aus Status	Zwei Potentialfreie Ausgänge. B3-B6 Kanal 1; B4-B5 Kanal 2. Wenn der interne Notaus- Schalter aktiviert ist, sind die Kanäle 1 und 2 offen.
B4	Not-Aus Status	
B5	Not-Aus Status	
B6	Not-Aus Status	
B7	SC Status	Potentialfreier Ausgang. Sind B7 und B8 geschlossen, ist der Sicherheitskreis EIN.
B8	SC Status	
C1	Ext. Not-Aus Status	Externer Zweikanal Notaus- Eingang. C1-C4 Kanal 1; C2-C3 Kanal 2. Nur Potentialfreie Kontakte können zwischen den Pins C1-C4 und C2-C3 verbunden werden.
C2	Ext. Not-Aus Status	
C3	Ext. Not-Aus Status	
C4	Ext. Not-Aus Status	
C5	SC Reset	Sicherheitskreis „Rücksetzen“ -Eingang. Nur Potentialsfreie Kontakte können zwischen den Pins C5 und C6 verbunden werden.
C6	SC Reset	

Abbildung 23: Sicherheitsschnittstelle [2]

## A5 Quelltext

```
(*=====Deklaration der globalen Variablen=====*)

VAR_GLOBAL

(*=====Analoge Eingänge=====*)

    AI_DRUCKSENSOR_1 AT%IW0          :WORD;
    AI_DRUCKSENSOR_2 AT%IW1          :WORD;
    AI_DRUCKSENSOR_3 AT%IW2          :WORD;

(*=====Digitale Eingänge=====*)

    I_SPIEGELUEBERWACHUNG_OK AT %IX4.0      : BOOL;
    I_SICHERHEITSSTEUERUNG_OK AT %IX4.1      : BOOL;
    I_RESET AT %IX4.2                      : BOOL;
    I_BEARBEITUNG_STARTEN AT %IX4.3          : BOOL;

    I_TUERSENSOR_1 AT %IX4.8                : BOOL;
    I_TUERSENSOR_2 AT %IX4.9                : BOOL;
    I_TUERSENSOR_3 AT %IX4.10               : BOOL;
    I_TUERSENSOR_4 AT %IX4.11               : BOOL;
    I_TUERSENSOR_5 AT %IX4.12               : BOOL;
    I_TUERSENSOR_6 AT %IX4.13               : BOOL;

    I_TASTER_STATION_1 AT %IX5.0             : BOOL;
    I_TASTER_STATION_2 AT %IX5.1             : BOOL;
    I_TASTER_STATION_3 AT %IX5.2             : BOOL;
    I_TASTER_STATION_4 AT %IX5.3             : BOOL;
    I_TASTER_STATION_5 AT %IX5.4             : BOOL;
    I_TASTER_LEISTUNGSMESSUNG AT %IX5.5       : BOOL;
    I_WAHLSCHALTER AT %IX5.6                 : BOOL;
    I_SCHLUESSELSCHALTER AT %IX5.7           : BOOL;

    I_B1_LASER_BEREIT AT %IX5.8              : BOOL;
    I_B2_LASERSTRAHL_EIN AT %IX5.9           : BOOL;
    I_B3_INTERNE_ANSTEUERUNG AT %IX5.10      : BOOL;
    I_B4_STOERUNG_LASER AT %IX5.11           : BOOL;
    I_B5_PIOTLASER_EIN AT %IX5.12            : BOOL;
    I_B6_ANALOGUE_ANSTEUERUNG_EIN AT %IX5.13  : BOOL;
    I_B7_LASER_ZUGETEILT AT %IX5.14          : BOOL;
    I_B8_LASER_EIN AT %IX5.15                : BOOL;
    I_B9_PROGRAMM_AKTIV AT %IX6.0             : BOOL;
    I_B10_PROGRAMM_BEENDET AT %IX6.1          : BOOL;
    I_B11_PROGRAMM_UNTERBROCHEN AT %IX6.2     : BOOL;
    I_B12_SYNCHRONISATION_AUSGANG AT %IX6.3   : BOOL;
    I_B13_WARNUNG_AUSGANG AT %IX6.4           : BOOL;
    I_D5_KUEHLER_WARNUNG AT %IX6.5            : BOOL;
    I_D6_KUEHLER_FEHLER AT %IX6.6            : BOOL;

    I_VENTIL_AUF AT %IX6.8                   : BOOL;
    I_VENTIL_ZU AT %IX6.9                    : BOOL;
    I_GROSSES_ECKVENTIL_AUF AT %IX6.10        : BOOL;
    I_GROSSES_ECKVENTIL_ZU AT %IX6.11         : BOOL;
    I_KLEINES_ECKVENTIL_AUF AT %IX6.12        : BOOL;
    I_KLEINES_ECKVENTIL_ZU AT %IX6.13         : BOOL;

    I_SPIEGELVENTIL_1_AUF AT %IX7.0           : BOOL;
    I_SPIEGELVENTIL_1_ZU AT %IX7.1            : BOOL;
    I_SPIEGELVENTIL_2_AUF AT %IX7.2           : BOOL;
```

```

I_SPIEGELVENTIL_2_ZU AT %IX7.3          : BOOL;
I_SPIEGELVENTIL_3_AUF AT %IX7.4         : BOOL;
I_SPIEGELVENTIL_3_ZU AT %IX7.5          : BOOL;
I_SPIEGELVENTIL_4_AUF AT %IX7.6         : BOOL;
I_SPIEGELVENTIL_4_ZU AT %IX7.7          : BOOL;

(*=====Digitale Ausgänge=====*)

Q_WAGO_IST_OK AT %QX0.0                  : BOOL;
Q_SICHERHEITSRELAIS_EIN AT %QX0.1        : BOOL;
Q_STATION_U_LASER_BEREIT AT %QX0.2       : BOOL;
Q_MULTIPLEXER_BIT_0 AT %QX0.3            : BOOL;
Q_MULTIPLEXER_BIT_1 AT %QX0.4            : BOOL;
Q_LASER_WARNUNG_LED AT %QX0.5            : BOOL;

Q_LED_TASTER_STATION_1 AT %QX0.8         : BOOL;
Q_LED_TASTER_STATION_2 AT %QX0.9         : BOOL;
Q_LED_TASTER_STATION_3 AT %QX0.10        : BOOL;
Q_LED_TASTER_STATION_4 AT %QX0.11        : BOOL;
Q_LED_TASTER_STATION_5 AT %QX0.12        : BOOL;
Q_LED_TASTER_LEISTUNGSMESSUNG AT %QX0.13 : BOOL;

Q_PUMPEN_EIN AT %QX1.0                   : BOOL;
Q_PUMPEN_AUS AT %QX1.1                   : BOOL;
Q_DRUCKSENSOREN_ZUENDEN AT %QX1.2        : BOOL;
Q_GASVENTIL_1 AT %QX1.3                  : BOOL;
Q_GASVENTIL_2 AT %QX1.4                  : BOOL;
Q_GASVENTIL_3 AT %QX1.5                  : BOOL;

Q_A1_LASER_ANFORDERN AT %QX1.8           : BOOL;
Q_A2_PROGRAMMSTART AT %QX1.9             : BOOL; (*schaltet Mul-
tiplexer Enable*)
Q_A3_INTERNE_STEUERUNG_AKTIV AT %QX1.10  : BOOL;
Q_A4_FEHLER_ZURUECKSETZEN AT %QX1.11    : BOOL;
Q_A5_PILOTLASER_EIN AT %QX1.12          : BOOL;
Q_A6_ANALOG_EINSTEUERUNG_EIN AT %QX1.13  : BOOL;
Q_A7_PROGRAMMENDE AT %QX1.14             : BOOL;
Q_A8_PROGRAMMNUMMER_LSB AT %QX1.15       : BOOL;
Q_A9_PROGRAMMNUMMER AT %QX2.0            : BOOL;
Q_A10_PROGRAMMNUMMER_MSB AT %QX2.1       : BOOL;
Q_A15_SYNCHRONISIERUNG_EINGANG AT %QX2.3 : BOOL;
Q_C1_LASER_EIN AT %QX2.4                 : BOOL;

Q_VENTIL_AUF AT %QX2.8                   : BOOL;
Q_VENTIL_ZU AT %QX2.9                   : BOOL;
Q_GROSSES_ECKVENTIL_AUF AT %QX2.10       : BOOL;
Q_KLEINES_ECKVENTIL_AUF AT %QX2.11      : BOOL;

Q_SPIEGELVENTIL_1_AUF AT %QX3.0          : BOOL; (*Strahlquelle*)
Q_SPIEGELVENTIL_1_ZU AT %QX3.1           : BOOL;
Q_SPIEGELVENTIL_2_AUF AT %QX3.2          : BOOL; (*Leistungsmessung*)
Q_SPIEGELVENTIL_2_ZU AT %QX3.3           : BOOL;
Q_SPIEGELVENTIL_3_AUF AT %QX3.4          : BOOL; (*Aerotech/Scanner*)
Q_SPIEGELVENTIL_3_ZU AT %QX3.5           : BOOL;
Q_SPIEGELVENTIL_4_AUF AT %QX3.6          : BOOL; (*Polygon*)
Q_SPIEGELVENTIL_4_ZU AT %QX3.7           : BOOL;

(*=====allgemeine globale Variablen=====*)

CYCLE1                                     :BOOL;(*TRUE im ersten Zyklus*)
M_EINSCHALT                               :BOOL;(*Ping 4 sec. nach Hochlauf*)

```

```

        M_STATION_BEREIT                :BOOL;

END_VAR

(*=====MAIN Programm=====*)

PROGRAM MAIN
VAR

    Helper                :BOOL := FALSE;
    TI_Einschalt           :TON;
    R_Einschalt            :R_TRIG;

END_VAR

(*TRUE für 1. SPS Zyklus*)
CYCLE1:= NOT Helper;
Helper:=TRUE;

(*Ping nach Einschalten*)
TI_Einschalt(IN:=Helper, PT:=t#4s);
R_Einschalt(CLK:=TI_Einschalt.Q);
M_Einschalt:=R_Einschalt.Q;

STATIONSWAHL;
LASERSTEUERUNG;

(*=====Programm STATIONSWAHL=====*)

PROGRAM STATIONSWAHL
VAR

    Laser_ist_aus          : BOOL;

    Station1Trig           : R_TRIG;
    Station2Trig           : R_TRIG;
    Station3Trig           : R_TRIG;
    Station4Trig           : R_TRIG;
    Station5Trig           : R_TRIG;
    StepStation            : INT;

    TEXT_STATUS            : STRING(32);

END_VAR

IF CYCLE1 OR I_RESET THEN
    Q_STATION_U_LASER_BEREIT := FALSE;
    M_STATION_BEREIT := FALSE;
    Q_SPIEGELVENTIL_1_AUF := FALSE;
    Q_SPIEGELVENTIL_1_ZU := TRUE;
    Q_SPIEGELVENTIL_2_AUF := FALSE;
    Q_SPIEGELVENTIL_2_ZU := TRUE;
    Q_SPIEGELVENTIL_3_AUF := FALSE;
    Q_SPIEGELVENTIL_3_ZU := TRUE;
    Q_SPIEGELVENTIL_4_AUF := FALSE;
    Q_SPIEGELVENTIL_4_ZU := TRUE;
    Q_MULTIPLEXER_BIT_0 := FALSE;
    Q_MULTIPLEXER_BIT_1 := FALSE;
    Q_LED_TASTER_STATION_1 := FALSE;

```

```

        Q_LED_TASTER_STATION_2 := FALSE;
        Q_LED_TASTER_STATION_3 := FALSE;
        Q_LED_TASTER_STATION_4 := FALSE;
        Q_LED_TASTER_STATION_5 := FALSE;
        StepStation := 0;
    END_IF

    IF NOT I_B1_LASER_BEREIT AND NOT I_B2_LASERSTRAHL_EIN AND NOT
    I_B5_PILOTLASER_EIN AND NOT I_B9_PROGRAMM_AKTIV AND NOT
    I_BEARBEITUNG_STARTEN THEN
        Laser_ist_aus := TRUE;
    END_IF

    (*Schrittkette fürs Referenzieren*)
    Station1Trig(CLK:=I_TASTER_STATION_1);
    IF Station1Trig.Q AND Laser_ist_aus AND StepStation=0 THEN
        StepStation:=110;
    END_IF
    Station2Trig(CLK:=I_TASTER_STATION_2);
    IF Station2Trig.Q AND Laser_ist_aus AND StepStation=0 THEN
        StepStation:=210;
    END_IF
    Station3Trig(CLK:=I_TASTER_STATION_3);
    IF Station3Trig.Q AND Laser_ist_aus AND StepStation=0 THEN
        StepStation:=310;
    END_IF
    Station4Trig(CLK:=I_TASTER_STATION_4);
    IF Station4Trig.Q AND Laser_ist_aus AND StepStation=0 THEN
        StepStation:=410;
    END_IF
    Station5Trig(CLK:=I_TASTER_STATION_5);
    IF Station5Trig.Q AND Laser_ist_aus AND StepStation=0 THEN
        StepStation:=510;
    END_IF

    CASE StepStation OF
        110: (*Anfrage zum Wechsel auf Station1*)
            M_STATION_BEREIT := FALSE;
            IF NOT I_B7_LASER_ZUGETEILT THEN
                StepStation := 120;
            END_IF
        120: (*Spiegel zu Station1 setzen*)
            Q_SPIEGELVENTIL_1_AUF := TRUE;
            Q_SPIEGELVENTIL_1_ZU := FALSE;
            Q_SPIEGELVENTIL_2_AUF := FALSE;
            Q_SPIEGELVENTIL_2_ZU := TRUE;
            Q_SPIEGELVENTIL_3_AUF := FALSE;
            Q_SPIEGELVENTIL_3_ZU := TRUE;
            Q_SPIEGELVENTIL_4_AUF := FALSE;
            Q_SPIEGELVENTIL_4_ZU := TRUE;
            IF I_SPIEGELVENTIL_1_AUF AND NOT I_SPIEGELVENTIL_1_ZU AND
            NOT I_SPIEGELVENTIL_2_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_2_ZU
            AND NOT I_SPIEGELVENTIL_3_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_3_ZU AND
            NOT I_SPIEGELVENTIL_4_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_4_ZU THEN
                StepStation := 130;
            END_IF
        130: (*Station1 erfolgreich gewählt, Signalquelle wählen, LED
    ein*)
            Q_MULTIPLEXER_BIT_0 := FALSE;
            Q_MULTIPLEXER_BIT_1 := FALSE;
            Q_LED_TASTER_STATION_1 := TRUE;
            Q_LED_TASTER_STATION_2 := FALSE;

```

```

Q_LED_TASTER_STATION_3 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_4 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_5 := FALSE;
StepStation := 999;

210: (*Anfrage zum Wechsel auf Station2*)
M_STATION_BEREIT := FALSE;
IF NOT I_B7_LASER_ZUGETEILT THEN
    StepStation := 220;
END_IF
220: (*Spiegel zu Station2 setzen*)
Q_SPIEGELVENTIL_1_AUF := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_1_ZU := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_ZU := TRUE;
IF I_SPIEGELVENTIL_1_AUF AND NOT I_SPIEGELVENTIL_1_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_2_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_2_ZU
AND NOT I_SPIEGELVENTIL_3_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_3_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_4_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_4_ZU THEN
    StepStation := 230;
END_IF
230: (*Station2 erfolgreich gewählt, Signalquelle wählen, LED
ein*)
Q_MULTIPLEXER_BIT_0 := FALSE;
Q_MULTIPLEXER_BIT_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_2 := TRUE;
Q_LED_TASTER_STATION_3 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_4 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_5 := FALSE;
StepStation := 999;

310: (*Anfrage zum Wechsel auf Station3*)
M_STATION_BEREIT := FALSE;
IF NOT I_B7_LASER_ZUGETEILT THEN
    StepStation := 320;
END_IF
320: (*Spiegel zu Station3 setzen*)
Q_SPIEGELVENTIL_1_AUF := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_1_ZU := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_ZU := TRUE;
IF I_SPIEGELVENTIL_1_AUF AND NOT I_SPIEGELVENTIL_1_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_2_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_2_ZU
AND NOT I_SPIEGELVENTIL_3_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_3_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_4_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_4_ZU THEN
    StepStation := 330;
END_IF
330: (*Station3 erfolgreich gewählt, Signalquelle wählen, LED
ein*)
Q_MULTIPLEXER_BIT_0 := FALSE;
Q_MULTIPLEXER_BIT_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_2 := FALSE;

```

```

Q_LED_TASTER_STATION_3 := TRUE;
Q_LED_TASTER_STATION_4 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_5 := FALSE;
StepStation := 999;

410: (*Anfrage zum Wechsel auf Station4*)
M_STATION_BEREIT := FALSE;
IF NOT I_B7_LASER_ZUGETEILT THEN
    StepStation := 420;
END_IF
420: (*Spiegel zu Station4 setzen*)
Q_SPIEGELVENTIL_1_AUF := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_1_ZU := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_ZU := TRUE;
IF I_SPIEGELVENTIL_1_AUF AND NOT I_SPIEGELVENTIL_1_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_2_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_2_ZU
AND NOT I_SPIEGELVENTIL_3_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_3_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_4_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_4_ZU THEN
    StepStation := 430;
END_IF
430: (*Station4 erfolgreich gewählt, Signalquelle wählen, LED
ein*)
Q_MULTIPLEXER_BIT_0 := FALSE;
Q_MULTIPLEXER_BIT_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_2 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_3 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_4 := TRUE;
Q_LED_TASTER_STATION_5 := FALSE;
StepStation := 999;

510: (*Anfrage zum Wechsel auf Station5*)
M_STATION_BEREIT := FALSE;
IF NOT I_B7_LASER_ZUGETEILT THEN
    StepStation := 520;
END_IF
520: (*Spiegel zu Station5 setzen*)
Q_SPIEGELVENTIL_1_AUF := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_1_ZU := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_2_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_3_ZU := TRUE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_AUF := FALSE;
Q_SPIEGELVENTIL_4_ZU := TRUE;
IF I_SPIEGELVENTIL_1_AUF AND NOT I_SPIEGELVENTIL_1_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_2_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_2_ZU
AND NOT I_SPIEGELVENTIL_3_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_3_ZU AND
NOT I_SPIEGELVENTIL_4_AUF AND I_SPIEGELVENTIL_4_ZU THEN
    StepStation := 530;
END_IF
530: (*Station5 erfolgreich gewählt, Signalquelle wählen, LED
ein*)
Q_MULTIPLEXER_BIT_0 := FALSE;
Q_MULTIPLEXER_BIT_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_1 := FALSE;
Q_LED_TASTER_STATION_2 := FALSE;

```



```

        Q_LED_TASTER_STATION_3 := FALSE;
        Q_LED_TASTER_STATION_4 := FALSE;
        Q_LED_TASTER_STATION_5 := TRUE;
        StepStation := 999;

999:
        M_STATION_BEREIT := TRUE;
        TEXT_STATUS:='Station ist angewählt';
        StepStation := 0;

END_CASE

(*=====Programm LASERSTEUERUNG=====*)

PROGRAM LASERSTEUERUNG
VAR

        StepLaser                : INT;
        TON_STEP900              : TON;
        TON_NICHT_VERBUNDEN      : TON;
        TON_STEP300              : TON;
        TON_STEP10               : TON;
        T_Wait3                  : TON;
        LaserErrorTrig           : R_TRIG;
        ResetTrig                : R_TRIG;
        LaserStartenTrig         : R_TRIG;
        LaserFertigTrig          : F_TRIG;
        LaserVorbereitenTrig     : R_TRIG;
        LaserAbschaltenTrig      : R_TRIG;

END_VAR

LaserErrorTrig(CLK:= I_B4_STOERUNG_LASER OR I_B13_WARNUNG_AUSGANG );
IF LaserErrorTrig.Q THEN
        Q_SICHERHEITSRELAIS_EIN := FALSE;
        StepLaser := 900; (*Laser Error*)
END_IF

IF CYCLE1 THEN
        StepLaser := 0;
END_IF

LaserVorbereitenTrig(CLK:=M_STATION_BEREIT);
IF LaserVorbereitenTrig.Q AND StepLaser=0 THEN
        StepLaser := 10;
END_IF

LaserAbschaltenTrig(CLK:=I_TASTER_STATION_1 OR I_TASTER_STATION_2 OR
I_TASTER_STATION_3 OR I_TASTER_STATION_4 OR I_TASTER_STATION_5);

LaserStartenTrig(CLK:=I_BEARBEITUNG_STARTEN);
LaserFertigTrig(CLK:=I_BEARBEITUNG_STARTEN);

ResetTrig(CLK:=I_RESET);
IF ResetTrig.Q THEN
        Q_LASER_WARNUNG_LED := FALSE;
        Q_A2_PROGRAMMSTART := FALSE;
        Q_A3_INTERNE_STEUERUNG_AKTIV := FALSE;
        Q_A5_PIOTLASER_EIN := FALSE;
        Q_A6_ANALOG_EINSTEUERUNG_EIN := FALSE;
        Q_A7_PROGRAMMENDE := FALSE;
        Q_A8_PROGRAMMNUMMER_LSB := FALSE;

```

```

        Q_A9_PROGRAMMNUMMER := FALSE;
        Q_A10_PROGRAMMNUMMER_MSB := FALSE;
        StepLaser := 300;
    END_IF

    TON_STEP10(          IN:=(StepLaser=10),          PT:=t#2s);
    TON_STEP900(         IN:=(StepLaser=900),         PT:=t#3s);
    TON_STEP300(         IN:=(StepLaser=300),         PT:=t#3s);

    CASE StepLaser OF
        10: (*Laser anfordern*)
            Q_A1_LASER_ANFORDERN := TRUE;
            IF TON_STEP10.Q AND I_B7_LASER_ZUGETEILT THEN
                StepLaser := 20;
            END_IF
        20: (*Laser Netzteile ein*)
            Q_C1_LASER_EIN := TRUE;
            IF I_B1_LASER_BEREIT AND I_B8_LASER_EIN THEN
                StepLaser := 30;
            END_IF
        30: (*Wahlschalterauswertung*)
            IF I_WAHLSCHALTER THEN
                Q_A8_PROGRAMMNUMMER_LSB := TRUE; (*Programmnummer
0000*)
                Q_A9_PROGRAMMNUMMER := FALSE;
                Q_A10_PROGRAMMNUMMER_MSB := FALSE;
                Q_A6_ANALOGE_ANSTEUERUNG_EIN := FALSE; (*Steuerung
über Ethernet-Programm aktiv*)
                Q_A3_INTERNE_STEUERUNG_AKTIV := TRUE;
                StepLaser := 40;
            ELSE
                Q_A8_PROGRAMMNUMMER_LSB := FALSE; (*Programmnummer
0001*)
                Q_A9_PROGRAMMNUMMER := FALSE;
                Q_A10_PROGRAMMNUMMER_MSB := FALSE;
                Q_A6_ANALOGE_ANSTEUERUNG_EIN := TRUE; (*analoge Ans-
teuerung aktiv*)
                Q_A3_INTERNE_STEUERUNG_AKTIV := FALSE;
                StepLaser := 50;
            END_IF
        40: (*Ansteuerung über Ethernet-Programm aktiv*)
            IF I_B3_INTERNE_ANSTEUERUNG AND NOT
                I_B6_ANALOGE_ANSTEUERUNG_EIN THEN
                StepLaser := 60;
            END_IF
        50: (*analoge Ansteuerung aktiv*)
            IF I_B6_ANALOGE_ANSTEUERUNG_EIN AND NOT
                I_B3_INTERNE_ANSTEUERUNG THEN
                StepLaser := 60;
            END_IF
        60: (*"Laser bereit" an externe Steuerung senden*)
            Q_STATION_U_LASER_BEREIT := TRUE;
            IF LaserStartenTrig.Q THEN
                StepLaser := 70;
            END_IF
            IF LaserAbschaltenTrig.Q THEN
                StepLaser := 300;
            END_IF
        70: (*Bearbeitung startet*)
            Q_A2_PROGRAMMSTART := TRUE; (*Multiplexer Enable*)
            Q_SICHERHEITSRELAIS_EIN := TRUE;
            IF I_B2_LASERSTRAHL_EIN OR I_B9_PROGRAMM_AKTIV THEN

```

```

        StepLaser := 100;
    END_IF
100: (*Laser emittiert Strahlung*)
    IF LaserFertigTrig.Q THEN
        Q_A2_PROGRAMMSTART := FALSE;
        Q_SICHERHEITSRELAIS_EIN := FALSE;
        Q_STATION_U_LASER_BEREIT := FALSE;
        StepLaser := 60;
    END_IF

300: (*Laser ausschalten*)
    Q_A2_PROGRAMMSTART := FALSE;
    Q_SICHERHEITSRELAIS_EIN := FALSE;
    Q_STATION_U_LASER_BEREIT := FALSE;
    IF TON_STEP300.Q THEN
        StepLaser := 310;
    END_IF
310: (*Laser ganz aus*)
    Q_A1_LASER_ANFORDERN := FALSE;
    IF NOT I_B7_LASER_ZUGETEILT THEN
        StepLaser := 0;
    END_IF

900: (*Laser Error*)
    Q_A4_FEHLER_ZURUECKSETZEN := TRUE;
    IF TON_STEP900.Q THEN
        StepLaser := 910;
    END_IF
910:
    Q_A4_FEHLER_ZURUECKSETZEN := FALSE;
    IF NOT I_B4_STOERUNG_LASER AND NOT I_B13_WARNUNG_AUSGANG
    THEN
        StepLaser := 0;
    END_IF

END_CASE

```

## **Literaturverzeichnis**

- [1] Weinhold, Sebastian: Inbetriebnahme eines 3 kW Faserlasers unter Beachtung der Lasersicherheit und erste Versuche zum Lasertiefschweißen. - 2008. - 81 S.
  
- [2] IPG Laser GmbH: YLR- 3000 SM Ytterbium Faser Laser, Handbuch. - 2007. - 85 S.
  
- [3] SICK AG: Modulare Sicherheits-Steuerung Flexi Soft, Datenblatt. - 2008. - 16 S.
  
- [4] WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG: Modulares I/O-System ETHERNET TCP/IP 750-841, Handbuch. - 2008. - 324 S.
  
- [5] Reis Lasertec: Produktbeschreibung Laser-Spy:  
URL:<[www.reislasertec.de/ger/pdf/Anleitung\\_Laser-Spy.pdf](http://www.reislasertec.de/ger/pdf/Anleitung_Laser-Spy.pdf)>
  
- [6] Aerotech: Npaq, Hardware Manual. - 2006. - 158 S.
  
- [7] SCANLAB AG: RTC3 PC-Interfacekarte für die Scan-Kopf- und Lasersteuerung in Echtzeit, Installation und Inbetriebnahme. - 2005. - 119 S.

## **Selbstständigkeitserklärung**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift